

Ю.А.ОВСЯННИКОВ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ЭКОЛОГО-БИОСФЕРНОГО  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2000

*Рекомендовано к изданию решением ученого совета Уральской государственной сельскохозяйственной академии*

**Рецензенты:**

зав. кафедрой земледелия Уральской сельскохозяйственной академии *В.А. Арнт*;  
зав. лабораторией экологии почв Института экологии растений и животных УрО  
РАН, с. н. с, к. б. н. *В.С. Дедков*; зав. лабораторией фитомониторинга и охраны  
растительного мира Института экологии растений и животных УрО РАН,  
проф., д. б. н. *В.А. Мухин*

**Овсянников Ю.А.**

Теоретические основы эколого-биосферного земледелия. — Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2000.— 264 с. **15ВИ 5-7525-1073-2**

В монографии рассматриваются вопросы влияния земледелия на окружающую среду. Автор делает вывод о необходимости перевода аграрной отрасли на новую природоохранную стратегию развития. В ее основе лежит использование естественных природообразовательных процессов.

Монография представляет интерес для научных работников, интересующихся проблемами сельского хозяйства, охраны окружающей среды и экологии. Она также может быть использована специалистами аграрной отрасли и студентами учебных заведений при изучении соответствующих курсов.

Табл. 67. Ил. 13. Библиогр.: 658 назв.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Монография явилась результатом длительной экспериментальной, а затем аналитической работы автора. В разные годы ее проведение поддерживалось научными сотрудниками УралНИИСХоза, преподавателями Пермской СХА, УрСХА и УрГЭУ. На первом этапе неоценимую помощь оказали Ольга Андреевна Дурасова и профессор Николай Александрович Халезов. Ольга Андреевна помогала проведению полевых и вегетационных опытов, а Николай Александрович давал нам своевременные замечания и рекомендации по обработке их результатов.

Большую признательность автор выражает бывшему ученому секретарю Ботанического сада УО РАН Лидии Александровне Семкиной, которая предоставила возможность провести лабораторные исследования с использованием специальных приборов. Работа на них была бы невозможной и без помощи инженера-биолога Ольги Максимовны Овсянниковой.

Эффективность исследовательской работы во многом зависит от соответствующего ее оформления. В этом нам значительную поддержку оказал Виталий Георгиевич Серебрянников. При его содействии была издана монография "Экологическое земледелие". Идеи и мысли автора, изложенные в ней, стали основой для написания настоящей монографии.

Автор выражает благодарность и заведующему кафедрой экономики природопользования УрГЭУ профессору Якову Яныбаевичу Яндыганову. Его исследования и активная позиция оказали на него заметное влияние.

Не без основания может быть поставлен вопрос: не сведется ли в будущем успешная культура и богатые урожаи хлебных растений на приспособление почвы к роскошному развитию в ней микробиологических процессов.

*А.С. Фаминцын*

Не исключена возможность с течением времени заменить внесение минеральных удобрений полностью или частично, по крайней мере, при некоторых сельскохозяйственных культурах, созданием соответствующего микробного режима почв.

*СП. Костычев*

## ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей земледелия является увеличение урожайности культурных растений. Для этого в настоящее время в сельском хозяйстве используются технологии, предусматривающие интенсивное применение минеральных удобрений, ядохимикатов, многократную обработку почвы, превращение на обширных территориях естественных биocenozов в искусственные. Ориентация на индустриально-технологические системы земледелия позволила многим развитым странам в относительно короткий исторический отрезок времени значительно увеличить объемы производства продуктов питания.

Однако на фоне имеющихся достижений сельского хозяйства к концу XX в. обозначились и его недостатки. В пахотных почвах наблюдается постоянное снижение содержания гумуса, ухудшаются их биологические свойства. Нерегулируемое применение средств химизации стало причиной накопления в почвах и грунтовых водах остатков минеральных удобрений и ядохимикатов, изменения биогеохимических потоков и загрязнения природных объектов. Агроэкосистемы, утратившие видовое разнообразие, свойственное естественным, превратились в простые одновидовые, а следовательно, и неустойчивые сообщества. Поддержание их состояния, которое обеспечивает необходимый уровень урожайности, с каждым годом требует все больших и больших затрат. В целом воздействие сельскохозяйственного производства на окружающую среду стало настолько сильным, что это может быть причиной подрыва плодородия пахотных земель в будущем и постепенной деградации отдельных структурных компонентов агроландшафтов.

Неконтролируемое использование средств химизации явилось причиной ухудшения качества продукции сельского хозяйства. В ней стали обнаруживаться нитраты, химические элементы, содержащиеся в удобрениях, остатки ядохимикатов. Снизилась ее биологическая полноценность. Это проявляется в неблагоприятных изменениях в аминокислотном составе, снижении содержания витаминов, Сахаров, различных биологически активных веществ. Употребление таких продуктов питания населением, проживающим в условиях сильного техногенного загрязнения, снижает устойчивость человеческого организма к действию неблагоприятных факторов.

В сложившейся ситуации нужно безотлагательно начать поиски принципиально новых способов выращивания культурных растений, которые бы обеспечивали высокую продуктивность пахотных земель, получение биологически полноценной сельскохозяйственной продукции, не наносили ущерба биосфере, и, более того, способствовали решению глобальных экологических проблем. Думается, что решение этой задачи в рамках индустриально-технологических систем земледелия невозможно. Это объясняется особенностями существующих подходов к повышению урожайности культурных рас-

тений. Они основаны на технократических приемах, которые с течением времени неизбежно вступают в противоречие с природными процессами.

Некоторые считают, что все перечисленные проблемы возникают из-за несоблюдения технологий выращивания сельскохозяйственных культур. Другие не придают им значения, так как с переходом к новой экономической системе объемы использования минеральных удобрений и ядохимикатов резко сократились. Полностью согласиться с этими аргументами нельзя. Во-первых, в странах с развитым сельским хозяйством, с высоким уровнем технологической дисциплины многие обозначенные проблемы еще более актуальны, чем в России. Во-вторых, спад в экономике будет продолжаться не вечно. Наступит период экономического роста. А это значит, что воздействие земледелия на окружающую среду достигнет прежних размеров, и все экологические проблемы вновь заявят о себе.

В связи с быстрым ухудшением состояния окружающей среды программой биосферных и экологических исследований РАН на период до 2015 г. предусматривается разработка альтернативных вариантов технологических стратегий природопользования. Этому вопросу, в приложении к сельскохозяйственному производству, и посвящена данная работа.

## **Глава 1. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

По мнению широкого круга специалистов, обеспечение населения планеты продуктами питания невозможно без химизации сельского хозяйства. Под этим подразумевается широкое применение минеральных удобрений и пестицидов. В настоящее время объемы их мирового производства достигли внушительных размеров и в ряде стран продолжают увеличиваться.

Вместе с тем, неконтролируемое использование минеральных удобрений и пестицидов стало причиной загрязнения окружающей среды [398]. И поэтому они стали рассматриваться не только как фактор повышения урожайности сельскохозяйственных культур, но и как фактор, нарушающий глобальные круговороты веществ в биосфере.

### **1.1. Минеральные удобрения в сельском хозяйстве**

К выдающимся достижениям науки XIX в. относится создание учения о минеральном питании растений. Это дало сильный толчок развитию целой отрасли промышленности, занимающейся производством минеральных удобрений. Их применение в земледелии давало возможность очень быстро повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Уже в 1890 г. мировое производство туков составило 1,4—1,5, в 1913 г. — 3,9, а в 1938 г. — 8,4 млн. т действующего вещества [430]. За одно десятилетие, с 1960 по 1970 г., производство минеральных удобрений увеличилось более чем в два раза и достигло 67,7 млн. т. В результате этого на каждый гектар европейской пашни вносилось 103,7 кг азота, фосфора и калия. Благодаря применению минеральных удобрений и других агротехнических приемов урожайность зерновых культур в Англии, Дании, Нидерландах и ФРГ к 1965 г. была доведена до 30—40 ц/га.

Исследования, проведенные во второй половине XX в., показали, что при использовании минеральных удобрений, наряду с увеличением урожайности, изменяется и качество растениеводческой продукции. Например, внесение азотных удобрений в дозе 180—300 кг/га (действующего вещества) позволило повысить содержание сырого протеина в злаковых травах с 13 до 17—22% и превратить их в корм, белковость которого сопоставима с бобовыми культурами [507]. Учитывая высокую требовательность бобовых растений к условиям выращивания, сложность их семеноводства и появившуюся возможность получения достаточного количества кормов с высоким содержанием сырого протеина за счет применения азотных удобрений на злаковых травостоях, в научной и производственной сферах появляются первые признаки недооценки бобовых как источника кормов и средства воспол-

нения дефицита азота в земледелии [458]. В подтверждение этой точки зрения специалисты, считающие, что выращивание бобовых становится невыгодным, в дискуссиях со своими оппонентами обращают их внимание на продолжающееся насыщение рынка минеральными удобрениями. За следующее десятилетие, с 1970 по 1980 г., мировое производство туков увеличилось с 67,7 до 122,7 млн. т действующего вещества, то есть практически опять удвоилось [549].

Немногим ранее, в конце 50-х — начале 60-х гг., в исследованиях по уточнению баланса питательных веществ в почве, проведенных с использованием радиоактивных изотопов, выяснилось, что коэффициент использования азота из минеральных удобрений оказался на 20% ниже уровня, который был определен расчетным разностным методом [464]. Одновременно обнаружены способность минерального азота передвигаться по профилю почвы и существование газообразных потерь [327]. Но эта информация в большинстве случаев воспринималась только как некоторое уточнение наших представлений об эффективности минеральных удобрений, что вполне объяснимо, так как последствия миграции биофильных элементов в биосфере проявились не сразу.

В погоне за высокими урожаями, под влиянием, как казалось, от почти беспредельных возможностей повышения урожайности полевых культур за счет интенсивного применения минеральных удобрений, фермерами Европы к 1977 г. на каждый гектар пашни вносилось 210,3, ГДР — 332,7, ФРГ — 422,0, а Нидерландов — 737,3 кг действующего вещества азота, фосфора и калия [549]. Произошло и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. Она у зерновых культур поднялась до 40—50 ц/га. Определение доли участия различных факторов в повышении урожайности растений показало, что на минеральные удобрения приходится от 35 до 50% [423, 562]. Поэтому их применение, по мнению многих специалистов, остается на данный момент и на отдаленную перспективу основным способом увеличения продуктивности пахотных земель. В исследованиях, проведенных автором, минеральные удобрения также повышали урожайность сельскохозяйственных культур (прил. 1—4).

По оценке ЮНИДО, сделанной в 1970-х гг., мировое производство минеральных удобрений в 2000 г. должно было составить 307 млн. т действующего вещества [548, 549]. Однако сейчас становится ясно, что этот прогноз не оправдывается. В Западной Европе объемы использования удобрений в последние годы стабилизировались, а в Северной Америке рост незначителен. К концу века потребление удобрений, очевидно, не превысит 140 млн. т (табл. 1). Большая часть применяемых удобрений — это азотные удобрения. Их доля в общем объеме составляет более 56% [262].



Таблица 1

**Мировое потребление минеральных удобрений, млн. т [239]**

Годы	Западная Европа	Северная Америка	Мировое потребление
1994—1995	17,7	21,7	121,8
1995—1996	17,7	22,4	128,7
1996—1997	17,8	23,0	130,1
1997—1998	17,3	23,4	134,4

До 1990 г. увеличивалось производство и применение минеральных удобрений и в бывшем СССР. К 1987 г. выпуск туков был доведен до 27,4 млн. т азота, фосфора и калия в действующем веществе [493]. После распада Союза и наступления экономического кризиса производство и применение минеральных удобрений в России неуклонно сокращалось (табл. 2).

Таблица 2

**Поставка минеральных удобрений сельскохозяйственным предприятиям в России, в пересчете на д. в. [475]**

Показатель	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Поставка удобрений, тыс. т	11051	10 102	5510	3721	1398	1601
Внесение, кг на 1 га пашни	83,4	79,4	44,2	31,8	12,1	14,1

Отмечается сокращение использования минеральных удобрений и в ряде развитых стран. Так, применение минеральных удобрений в США в 1988 г., по сравнению с 1980 г., снизилось с 20,96 до 17,68 млн. т [189]. За этот же период их внесение на 1 га пашни снизилось в США с 113 до 106, Италии — с 189 до 169, Дании — с 263 до 245, Японии — с 429 до 378 кг [416]. Но это вызвано совсем другими обстоятельствами, чем в России. Одной из причин сокращения применения минеральных удобрений в некоторых странах с развитым сельским хозяйством является рост озабоченности по поводу отрицательных последствий, возникающих в результате их использования.

**1.2. Биогеохимические аспекты миграции азота и фосфора из почв сельскохозяйственного использования**

Изучение эффективности применения удобрений показало, что из общего количества внесенного в почву азота сельскохозяйственными расте-

ниями усваивается около 40% [507]. Остальная часть подвергается иммобилизации, улетучивается в виде газообразных соединений и вымывается из пахотного горизонта (рис. 1). Вымывание азота удобрений объясняется хорошей растворимостью его минеральных форм в воде. Это позволяет им легко передвигаться по профилю почвы. На скорость миграции оказывают влияние растительный покров, механический состав почвы, ее водопроницаемость, количество фильтрующей воды, запас подвижных соединений азота [69].



**Рис. 1. Судьба азотных удобрений в почве [38]**

В опытах, проведенных в полевых условиях на среднесуглинистой серой лесной почве, установлено, что после внесения в течение четырех лет аммиачной селитры в дозе 60 и 120 кг/га действующего вещества азот удобрений обнаруживался ниже пахотного слоя на глубине 20—200 см в количестве от 7 до 21% [383]. В других исследованиях при внесении за девятилетний период 1020 кг/га нитраты вымывались на глубину 2—3 м, а потери от внесенного азота составили 8,14% [73]. В условиях Эстонской ССР из почв вымывается в среднем 0,2—10% азота минеральных удобрений [237].

Принимая во внимание, что от 20 до 70% атмосферных осадков, выпадающих в лесной зоне, принимают участие в питании грунтовых вод [249], к решающим факторам, определяющим миграцию азота в подпахотные горизонты почвы, очевидно, следует отнести водный режим почв и наличие подвижных соединений. Так, в годы с недостаточным количеством осадков передвижение нитратного азота глубже одного метра, независимо от выращиваемых сельскохозяйственных культур, происходит очень слабо, но в увлажненные годы потери при внесении  $N_{120}$  составили 29 кг/га, что было выше, по

сравнению с вариантом без внесения удобрений, на 20% [311].

В то же время имеются сведения, что и в зонах с недостаточным количеством осадков соединения азота способны проникать в подпочвенные горизонты. В опыте, проведенном в Курганском НИИЗХ, систематическое применение в течение 10 лет азотных удобрений даже в умеренных дозах (40 кг/га) увеличивало содержание нитратов в грунтовых водах на глубине 2,5—3 м в 2 раза [241].

Минеральные соединения азота, накапливающиеся в подпахотных горизонтах почв, включаются в геохимическую миграцию. Это в стационарном опыте наблюдал И.С. Шатилов [582]. Изучение геохимических потоков показало, что существует положительная корреляция между количеством применяемых удобрений и содержанием нитратов в фунтовых водах (табл. 3). В модельных опытах внесение азота в дозе 129 кг/га повышало его вымывание по сравнению с контролем на 6—19% [576].

Таблица 3

**Средневзвешенные величины доз азотных удобрений  
и содержание нитратов в грунтовых водах [280]**

Бассейн	Доза N, кг/га		NO <sub>3</sub> , мг/л	
	1969	1979	1969	1979
р. Городнянка	107	170	14,7	18,9
р. Скнига	23	50	1,6	8,2
р. Ичка	27	32	4,1	6,2
р. Сохна	52	73	3,0	12,4

Отражением миграционных процессов являются и результаты исследований, согласно которым в пробах воды лесного родника нитратов обнаружено не было, а в роднике, дренирующем пашню, их содержание было максимальным и составляло 7,1—8,9 мг/л [82]. В геохимических исследованиях, проведенных в водоохранной зоне Иваньковского водохранилища, содержание азота в грунтовых водах под лесом и естественным лугом составляло 0,1—0,3 мг/л, а под сельскохозяйственными культурами — 16,3 мг/л [37]. Еще большее содержание нитратов в грунтовых водах наблюдали в опытах, проведенных на экспериментальной базе ТСХА "Михайловское". При систематическом применении удобрений в количестве 200 кг/га N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O их концентрация превысила 30—50 мг/л [187].

Оценивая степень загрязнения грунтовых вод, необходимо учитывать не только участие в этом процессе удобрений, но также и их способность повышать подвижность почвенного азота. Причины этого явления будут рассмотрены ниже.

Подвержен вымыванию из почв, но в меньшей степени, чем азот, и фосфор. При общих незначительных потерях фосфора из пахотного слоя, от

0,2 до нескольких килограммов в год, внесение фосфорных удобрений увеличивает их в 1,5—3,7 раза [65, 378].

Вымывается из почв и калий. Но этому процессу пока еще не уделяется большого внимания, так как считается, что калий не представляет собой опасности. Его содержание в грунтовых водах в России даже не регламентируется. Вместе с тем, известны примеры, когда его концентрация в воде колодцев достигает 85—92 мг/л. Это значительно выше фоновой, которая составляет 0,5—3 мг/л [37].

Изменение биогеохимических потоков в агроландшафтах в результате применения минеральных удобрений настолько значительно, что это дало основание для выделения на территориях с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью целых биогеохимических районов. Их отличает от естественных повышенное содержание соединений азота и фосфора в почвах, культурных и дикорастущих растениях, грунтовых водах [48, 453]. Так, по сведениям В.Н. Кудярова и В.Н. Башкина, грунтовые воды, дренирующие только лесные ландшафты, практически не содержат соединения азота, а грунтовые воды, формирующиеся на освоенной территории реки Оки, содержат нитратный азот в количестве 0,11—17,0 мг/л [284].

Загрязнение грунтовых вод, изменение в агроландшафтах биогеохимических циклов неизбежно ведет к усилению миграции нитратов и соединений фосфора. Они с грунтовыми и поверхностными стоками поступают в водные объекты. Это является главной причиной загрязнения биогенными элементами водоемов, расположенных в районах с неразвитой промышленностью. Даже при низких концентрациях азота и фосфора в почвенных водах они могут аккумулироваться в значительных количествах в водных объектах, имеющих в своем бассейне большие площади сельскохозяйственных угодий. Например, потери фосфора из удобрений за счет вымывания невелики и составляют всего 0,1—0,2% от внесенного в почву. В то же время содержание фосфатов в озерах Эстонии за последние 30 лет повысилось в среднем в 9 раз [237]. Такие же результаты получены при исследовании озер Литвы, в которых концентрация азота и фосфора под влиянием главным образом сельскохозяйственного производства увеличилась в 5—10 раз [526]. В реках южного региона содержание соединений азота только за период с 1983 по 1987 г. увеличилось в два раза [47].

Из общего количества биогенных веществ, поступающих в водоемы, азот и фосфор, теряемые с аграрных территорий с жидким и твердым стоком, могут составлять до 70% [626, 631, 9]. Существующие методы изучения геохимических потоков пока не позволяют достаточно надежно определить долю участия в этом процессе минеральных удобрений и элементов, содержащихся в почве. Простые математические расчеты дают только ориентировочные сведения. Специалисты из Чехословакии считают, что загрязнение водоемов на 45—50% связано со смывом удобрений [650]. По сведениям ученых из Германии, 10—25% азота и 1—5% фосфора, обнаруживаемых в водоемах,

имеют происхождение из минеральных удобрений [562]. В работах русских ученых эти показатели равны соответственно 20 и 2,5% [65]. Ландшафтно-геохимические исследования баланса азота в бассейне реки Оки показали, что 50—80% от всех поступлений этого элемента в водоисточники приходится на минеральные удобрения [282]. В реках, впадающих в Каспийское море, доля биогенных элементов минеральных удобрений достигает 50 и даже 80% [529].

Одним из источников поступления в окружающую среду азота и фосфора являются погрузочно-разгрузочные работы, а также транспортировка минеральных удобрений. По данным БелНИИПА, потери минеральных удобрений на этапе "завод — поле" составляют около 15% [342].

Следствием увеличения содержания в водоемах азота и фосфора является повышение скорости размножения водорослей. Это явление называется эвтрофирование. Эвтрофирование водоемов представляет собой природный процесс, развитие которого обусловлено геохимической миграцией в ландшафтах биофильных элементов. В естественных условиях, из-за ограниченного поступления биогенных элементов, оно происходит на протяжении нескольких тысячелетий. Однако под действием антропогенного фактора, и в частности минеральных удобрений, образование первичной продукции в водных экосистемах повышается в несколько раз. Это способствует быстрому последовательному переходу водоемов от одного трофического уровня к другому. Такие изменения часто приобретают лавинообразный характер и ведут к быстрому превращению водного объекта в болото [506]. Скорость эволюционных преобразований настолько велика, что срок жизни водоемов может сокращаться с десятков тысяч до нескольких сотен лет.

Эвтрофирование существенно изменяет характеристики водных экосистем. Изменяется физико-химический режим водоема и состав его биоты. На первых этапах происходит увеличение общей биологической продуктивности за счет усиленного размножения отдельных компонентов фито- и зоопланктона на фоне одновременного сокращения его видового состава. Например, в мезотрофных озерах постепенно уменьшается число видов ракообразных и увеличивается разнообразие коловраток [375]. Среди первичных продуцентов чаще всего преимущественное развитие получают сине-зеленые водоросли [303]. В результате повышения биопродуктивности вода обогащается органическим веществом, образующимся после разложения отмирающего планктона. Этот материал, представляя благоприятную среду для микроорганизмов, способствует бактериальному загрязнению воды, максимум которого наблюдается в период гниения планктона [358].

Интенсивное разложение органического вещества, после его осаждения на дно водоема, сопровождается выделением большого количества метана, сероводорода, углекислоты и сокращением запасов растворенного кислорода. В отдельные годы содержание кислорода снижается настолько, что это приводит к массовым заморам молоди рыб. Поэтому во всех водоемах, за-

тронутых эвтрофированием, с течением времени происходит сокращение видового состава обитающих там живых организмов и снижение рыбопродуктивности [501].

Эвтрофирование водоемов представляет определенную опасность для человека и сельскохозяйственных животных. Являясь продуцентами токсических веществ, сине-зеленые водоросли могут способствовать повреждению кожных покровов, возникновению заболеваний дыхательной системы и острых аллергических конъюнктивитов [148]. С интенсивным развитием в водоемах сине-зеленых водорослей связывают возникновение у людей и животных гафской болезни. Установлено, что содержащаяся в водорослях тиамилаза, аккумулируясь в организме планктоноядных рыб, вызывает разрушение витамина В<sub>1</sub>. Развивающаяся тиаминная недостаточность может стать причиной их гибели. Систематическое употребление человеком и млекопитающими рыбы с признаками В<sub>1</sub>-авитаминоза приводит к возникновению у них гафской болезни и желудочно-кишечных заболеваний [63].

Свидетельством реальной опасности интенсивного развития водорослей в водоемах стали случаи существенного ухудшения качества питьевой воды [411]. Ее очистка и доведение до параметров, соответствующих санитарно-гигиеническим нормам или технологическим условиям, требует дополнительных затрат. Так, ежегодный ущерб от "цветения" воды только на предприятиях водоочистки днепровского каскада достигает в ценах 1988 г. 1 млн. руб. [260]. Кроме того, необходимо учитывать и потери, возникающие в результате снижения рыбопродуктивности, а также социальный ущерб, проявляющийся в ухудшении эстетических характеристик водоема. Отдыхающие на берегах чистых рек и озер получают положительные эмоции, и это, несомненно, благоприятно отражается на их настроении, а впоследствии и на работоспособности. Созерцание же того, как из года в год усиливается "цветение" воды, снижается ее прозрачность, уменьшаются рыбные запасы, производит на отдыхающих унылое впечатление, а значит, и не дает полной психоэмоциональной разгрузки. Приведенный пример достаточно наглядно показывает, как экологические проблемы трансформируются в социальные и экономические. Но именно этот аспект очень часто не попадает в поле зрения специалистов, определяющих эффективность применения минеральных удобрений и величину ущерба, наносимого окружающей среде.

Газообразные потери азотных удобрений являются источником загрязнения атмосферы. Их появление связано с процессами денитрификации, аммонификации и нитрификации, происходящими в почве с участием микроорганизмов. По обобщенным данным 80 полевых опытов, газообразные потери составляют в среднем 26% от внесенного азота. Изучение этого явления показало, что улетучивание азота происходит в основном в форме N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> и HN<sub>3</sub>. Размеры газообразных потерь увеличиваются при внесении высоких доз удобрений и их мелкой заделке. До последнего времени газообразным потерям как фактору загрязнения окружающей среды не придавалось

существенного значения, так как наблюдающееся при этом увеличение концентрации азота в приземном слое воздуха не превышает предельно допустимых норм [328, 327]. Однако сейчас стало известно о способности соединений азота, наряду с другими химическими веществами, разрушать озоновый экран стратосферы, являющийся своеобразным щитом, прикрывающим все живое на планете от жесткого ультрафиолетового излучения [250, 326].

Газообразные соединения азота, поступающие в атмосферу, способствуют потеплению глобального климата. На долю  $\text{NO}_2$  приходится 6% парникового эффекта. В будущем роль двуокиси азота может возрасти. Это объясняется увеличением ее концентрации в атмосфере. С конца прошлого века она повысилась более чем на 20%. Основной причиной насыщения атмосферы соединениями азота является производство и применение азотных удобрений [138].

Появление и накопление соединений азота в атмосфере приводит к выпадению кислотных дождей. Около 30% их кислотности обусловлено присутствием  $\text{HNO}_3$ . Азот возвращается с осадками на землю в количестве до нескольких десятков кг/га в год [584]. Такой путь поступления азота на сельскохозяйственные угодья в некоторой степени компенсирует его дефицит в земледелии, но в то же время ведет к подкислению почв и водоемов [250]. Так, если до 1940 г. только 4% горных озер Канады имели pH воды ниже 5,0, то к середине 70-х гг., в результате выпадения загрязненных осадков, этот показатель увеличился до 51% [632]. Под действием кислотных дождей ускоряется разрушение строительных материалов, окисление металлов, нарушаются природные экосистемы. Гибнут рыбы, моллюски, насекомые, растения и даже крупные животные. На больших территориях повреждаются лесные массивы [619, 618]. Доля таких участков в Западной Европе составляет 22% от общей площади лесов.

Кислотные осадки отрицательно влияют на агроэкосистемы. Подкисление почв ухудшает их физические, химические и биологические свойства; у сельскохозяйственных культур снижается интенсивность фотосинтеза, скорость роста, утрачивается иммунитет. Все это, в конечном итоге, значительно снижает урожайность. Конечно, основными загрязнителями атмосферы являются промышленные предприятия, но, без сомнения, в определенной степени в этом повинно и сельское хозяйство.

Сокращение потерь азота, предотвращение его вымывания из пахотного слоя почвы могло бы значительно повысить эффективность азотных удобрений и уменьшить загрязнение окружающей среды. С этой целью ведутся работы по различным направлениям. Наиболее простым способом сокращения газообразных потерь азота является увеличение глубины заделки и локальное внесение удобрений. Другими вариантами предусматривается использование цеолитов [171] или медленнодействующих удобрений [191]. Вместе с тем, все перечисленные способы только частично снижают потери азота. Часто их применение не всегда вписывается в технологию выращивания

ния сельскохозяйственных культур, а иногда просто невозможно ввиду их большой стоимости [281].

Определенные надежды связывали с использованием ингибиторов нитрификации и денитрификации. Их применение позволяет повысить урожайность растений, но при этом не удастся полностью предотвратить потери азота. Например, в опытах, проведенных на дерново-подзолистой почве, при ежегодном внесении ингибиторов потери азота снижались всего на 10—26,7% [262]. Кроме того, имеются данные об отрицательном влиянии ингибиторов нитрификации, относящихся к биологически активным соединениям, на микрофлору почвы [281, 566]. Последствия этого воздействия изучены еще недостаточно

### **1.3. Влияние минеральных удобрений на свойства почвы**

Самым важным вопросом современного земледелия, от которого зависит не только производство продуктов питания, но и состояние биосферы, является сохранение плодородия почв. Значение почвенного покрова для современной биосферы сравнимо с озоновым экраном стратосферы. Деградация почв ведет к постепенному снижению объемов образования первичной продукции и катастрофическим изменениям в окружающей среде [250, 167].

Основным показателем, характеризующим плодородие почв, является содержание в них гумуса. Высокогумусированные почвы имеют благоприятную для растений структуру, хорошую водоудерживающую способность и достаточный запас питательных веществ. Экспериментальным путем установлено, что повышение содержания гумуса в дерново-подзолистой почве на 1% увеличивает продуктивность пашни более чем на 25% [183]. Аналогичные данные получены и в других опытах. Следовательно, создание запасов органического вещества в пахотных землях должно стать первоочередной задачей земледелия. Вместе с тем, наблюдения показывают, что за 30 лет интенсивной эксплуатации почв Саратовской области содержание в них гумуса снизилось с 7,0 до 6,5%, а в целом по Центрально-Черноземной зоне РСФСР — с 5,6 до 5,1% [388]. В Башкортостане почвы за время их сельскохозяйственного использования утратили около 20% гумуса. Ежегодная его потеря составляет в среднем 300 кг/га [561].

По мнению ведущих почвоведов, за последние 100 лет запасы органического вещества в черноземах нашей страны уменьшились в два раза [248, 251]. К таким же выводам пришла Г.С. Макунина. Согласно ее расчетов общие потери гумуса на всей площади сельскохозяйственного освоения черноземов составили около 40% [329].

Роль минеральных удобрений в увеличении гумусированности почв до недавнего времени рассматривалась с положительной стороны. Однако в последние годы происходит переоценка их значения. Все чаще специалисты выражают сомнение по поводу возможности повышения содержания органи-



ческого вещества за счет применения минеральных удобрений [339, 283, 291]. Более того, они могут явиться причиной обеднения почв гумусом. По данным Л.К. Шевцова, которые использует В.Н. Кудеяров с соавторами [283], полученным на основе обобщения данных более 400 длительных полевых опытов, его содержание в дерново-подзолистых почвах при внесении полного минерального удобрения в первые 20—30 лет снижалось в среднем на 12—14%. Им сделан вывод, что внесение только минеральных удобрений не компенсирует потерь почвенного органического вещества. Такое же заключение делает и В.Г. Минеев [339]. Механизм этого явления состоит в следующем.

Определение коэффициентов использования питательных веществ из почвы показало, что их значения при внесении минеральных удобрений, по сравнению с неудобренными вариантами, как правило, увеличиваются. При выяснении обстоятельств отмеченного явления было обнаружено существенное усиление процессов минерализации гумуса, происходящее под действием азотных удобрений [282, 279]. Оказывается, каждая единица азота удобрений способствует дополнительной мобилизации от 0 до 1,2 единицы почвенного азота [283]. Это и ведет к увеличению содержания в почве подвижных соединений и, как следствие, повышению коэффициентов использования растениями питательных веществ. Подвижные соединения азота, образовавшиеся в результате минерализации органического вещества, так же, как азот минеральных удобрений, включаются в геохимическую миграцию. Их доля от общего количества инфильтрационных потерь азота из пахотных угодий составляет от 10 до 50% [93, 239].

Сведения о происходящей трансформации гумуса подтвердились при изучении его качественного состава. Под влиянием минеральных удобрений меняется соотношение между гуминовыми и фульвокислотами, увеличивается доля сахаридных и кислородсодержащих соединений, белковоподобных остатков [79, 611]. По данным Г.П. Гамзикова с соавторами, длительное внесение минеральных удобрений достоверно снижало долю гуминовых кислот [122]. Учитывая то, что гумусовые вещества являются важным экологическим фактором, влияющим на жизнедеятельность почвенных организмов, их разрушение неизбежно повлечет за собой изменения в естественной структуре педоценозов.

Возможны и более существенные отрицательные экологические последствия дегумификации почв. Гумусовые вещества на 52—62% состоят из углерода. При их минерализации происходит образование  $\text{CO}_2$ , который поступает в атмосферу и способствует формированию парникового эффекта. Полагают, что 20% всего углекислого газа, накопившегося в атмосфере в результате антропогенной деятельности, образовалось вследствие разрушения почвенного органического вещества [167].

Опасность минерализации гумуса под влиянием каких-либо агротехнических приемов, в том числе и азотных удобрений, заключается не только

в сокращении прямых запасов питательных веществ в почве, ухудшении ее свойств, возникновении экологических проблем, но и в снижении потенциальной возможности, небактериальной фиксации азота. В настоящее время имеются убедительные данные, свидетельствующие о существовании в почве механизмов химической природы, обеспечивающих фиксацию азота без участия живых организмов [13]. По оценкам специалистов, потребность сельскохозяйственных культур в азоте в полевых условиях на 40—50% удовлетворяется за счет его фиксации природными гумусовыми веществами. В перспективе это свойство почв может быть использовано для создания регулируемых азотфиксирующих систем [13]. Изменение качества гумуса, очевидно, может оказать существенное отрицательное влияние на активность биотических систем фиксации азота в почве, так как их функционирование зависит от физико-химических свойств органического вещества.

Плодородие почвы и направленность различных химических и биологических превращений, происходящих в ней, во многом зависит от кислотности среды. Оптимальное значение pH почвы для большинства культур соответствует 6,0—6,5. Ее увеличение приводит к угнетению растений. Внесение физиологически кислых удобрений, к которым относятся такие широко распространенные виды, как аммиачная селитра, хлористый калий и другие виды способствует подкислению почвенного раствора. Если при разовом использовании удобрений в небольших дозах существенного изменения pH не наблюдается, то при длительном, в течение ряда лет, происходит сильное подкисление почв. Например, внесение за 25-летний период 2480 кг N, 1820 кг  $P_2O_5$  и 2500 кг  $K_2O$  увеличивало актуальную кислотность дерново-подзолистой почвы в слое 0—20 см с 4,9 до 4,0—4,3, а степень насыщенности основаниями при этом снижалась с 69,4—70,0 до 48,2%. Еще большее снижение степени насыщенности основаниями наблюдалось в слое почвы 20—40 см [144, 184].

Степень и срок, в течение которого происходит изменение pH почв, зависят от их типа. Более заметному подкислению подвержены дерново-подзолистые почвы, характеризующиеся низким содержанием органического вещества и высокой естественной кислотностью. Но при длительном внесении удобрений увеличение кислотности, уменьшение суммы поглощенных оснований и степени насыщенности основаниями происходит и в черноземных почвах [159].

Среди практикующих агрономов распространено мнение об отсутствии заметного повышения pH, если используются умеренные дозы удобрений. Однако исследования показывают, что ежегодное внесение в течение ротации севооборота даже 38 кг/га аммиачной селитры и 70 кг/га действующего вещества хлористого калия увеличивает кислотность дерново-подзолистых суглинистых почв на глубину до 60 см [246].

Незначительное на первый взгляд изменение кислотности почв воспринимается совсем по-другому, когда мы вспоминаем о том, что шкала pH

логарифмическая. А это значит — при снижении значения рН с 5 до 4 кислотность среды увеличивается в 10 раз.

Ухудшение агрохимических показателей почвы отражается на эффективности применяемых удобрений и, как следствие, на продуктивности растений. Например, если в первый год внесения минеральных удобрений урожай картофеля и овса повышался соответственно со 118 до 251 ц/га и с 25 до 40,1 ц/га, то через 10 лет их регулярного использования они уже не повышали, а, наоборот, снижали урожайность полевых культур [4]. Аналогичные данные получены и в других опытах. Так, на шестой год внесения азотных удобрений в дозе 60—90 кг/га действующего вещества также не было получено прибавки урожая. Результаты этого опыта приведены в табл. 4.

*Таблица 4*

**Урожайность ячменя на шестой год внесения удобрений [12]**

Вариант	Урожайность, ц/га
РК-фон	26,4
Фон + кальциевая селитра	35,2
Фон + сульфат аммония	26,0
Фон + хлорид аммония	24,1
Фон + мочевины	26,4

Отрицательное действие систематического применения удобрений на растения обусловлено как подкислением почвенного раствора, так и происходящим при этом увеличением подвижности соединений алюминия, марганца и железа, которые угнетают рост растений [486]. Их комплексное воздействие отрицательно влияет на биологические показатели почвы. Изменяется численность и видовой состав микроорганизмов. Среди них появляются фитопатогенные виды. Кроме того, ухудшение отдельных показателей химической характеристики почвы снижает устойчивость растений к недостатку воды [245] и, очевидно, другим факторам окружающей среды.

Особого внимания в современном земледелии заслуживает факт обеднения пахотного горизонта кальцием, магнием и изменение доступности для растений ряда микроэлементов (табл. 5). На разных типах почв минеральные удобрения повышают выщелачивание оснований из пахотного горизонта на 11—36% [588]. По другим сведениям, интенсивность вымывания кальция и магния на удобренных почвах увеличивается в 2—3 раза [544, 262].

Расчеты, проведенные с целью выяснения связи между вымыванием оснований и внесением удобрений показывают, что на суглинистых почвах каждый килограмм внесенных питательных веществ ведет к потере 0,5 кг СаО и 0,06 кг MgO, а на супесчаных почвах соответственно 1,0 и 0,19 кг. Поэтому на удобряемых участках дополнительно рекомендуется вносить 60—80

кг/га MgO [290].

Таблица 5

**Влияние минеральных удобрений на вымывание  
кальция и магния из почвы [290]**

Дозы удобрений	Потери, кг/га, суглини- стая почва		Потери, кг/га, супесчаная почва	
	CaO	MgO	CaO	MgO
Без удобрений	99	12	205	41
N <sub>170</sub> P <sub>170</sub> K <sub>170</sub>	252	31	467	98
N <sub>340</sub> P <sub>340</sub> K <sub>340</sub>	484	67	1016	142

К отрицательным последствиям применения удобрений следует отнести и увеличение подвижности некоторых микроэлементов, содержащихся в почве. Они более активно вовлекаются в геохимическую миграцию. Это ведет к возникновению в пахотном слое дефицита В, Zn, Cu, Mn [141]. Ограниченное поступление микроэлементов в растения, которые вымываются из почвы, неблагоприятно влияет на процессы фотосинтеза и передвижение ассимилятов, снижает их устойчивость к заболеваниям, недостаточному и избыточному увлажнению, высоким и низким температурам [113, 337, 22], то есть к наиболее важным факторам внешней среды, подверженным к тому же сильным колебаниям, часто выходящим за оптимальные параметры. Основной причиной нарушений в обмене веществ растений при недостатке микроэлементов является снижение активности ферментных систем.

Недостаток микроэлементов в почве вынуждает применять микроудобрения. Так, в США их использование в период с 1969 по 1979 г. возросло с 34,8 до 65,4 тыс. т действующего вещества [508].

В связи с глубокими изменениями в агрохимических свойствах почв, происходящими в результате применения удобрений, возникла необходимость изучения их влияния на физические характеристики пахотного слоя. Основными показателями физических свойств почвы являются агрегатный состав и водопрочность почвенных частиц. От того, насколько эти параметры близки к оптимальным, зависят водный и воздушный режимы корнеобитаемой зоны. Анализ результатов ограниченного количества исследований, проведенных с целью изучения влияния минеральных удобрений на физические свойства почвы, не позволяет сделать определенных выводов. В некоторых опытах наблюдалось ухудшение физических свойств [285]. При повторной культуре картофеля доля почвенных агрегатов более 1 мм в варианте с внесением азота, фосфора и калия, по сравнению с неудобренным участком, снижалась с 82 до 77%. В других исследованиях при внесении полного минерального удобрения на протяжении пяти лет содержание в черноземе агро-

номически ценных агрегатов уменьшилось с 70 до 60%, а водопрочных — с 49 до 36% [589].

Чаще всего отрицательное влияние минеральных удобрений на агрофизические свойства почвы обнаруживается при изучении ее микроструктуры. Возможно, это связано с тем, что новые методы в некоторых случаях более надежны.

Микроморфологические исследования показали, что даже небольшие дозы минеральных удобрений (30—45 кг/га) оказывают отрицательное влияние на микроструктуру почвы, сохраняющееся на протяжении 1—2 лет после их внесения. Возрастает плотность упаковки микроагрегатов, снижается видимая порозность, уменьшается доля зернистых агрегатов [332]. Длительное внесение минеральных удобрений ведет к снижению доли частиц губчатого микросложения и к увеличению на 11% неагрегатированного материала [440]. Аналогичные результаты были получены и в других исследованиях. Одной из причин ухудшения структуры является обеднение пахотного слоя экскрементами почвенных животных [49, 571].

В ряде опытов существенного влияния минеральных удобрений на физические свойства почв не обнаружено. Но это, очевидно, объясняется не отсутствием реальных изменений, а сложностью их обнаружения, так как происходят они в течение длительного времени. Наше предположение основано на том, что агрохимические и агрофизические свойства почв тесно связаны между собой, и поэтому увеличивающаяся кислотность, обеднение пахотного горизонта основаниями, уменьшение содержания гумуса, ухудшение биологических свойств должны закономерно сопровождаться ухудшением агрофизических свойств.

Для предотвращения отрицательного влияния минеральных удобрений на свойства почвы следует периодически проводить известкование. Необходимость в этом мероприятии была очень высока в доперестроечный период, когда наблюдался рост поставок сельскому хозяйству минеральных удобрений. К 1966 г. ежегодная площадь известкования в бывшем СССР превысила 8 млн. га, а объем вносимой извести составил 45,5 млн. т. Однако это не компенсировало потерь кальция и магния. Поэтому доля земель, подлежащих известкованию, в ряде регионов не уменьшилась, а даже несколько увеличилась. Для того чтобы не допустить увеличения площади кислых земель, предполагалось удвоить поставки сельскому хозяйству известковых удобрений и довести их к 1990 г. до 100 млн. т [220, 393, 312].

Известкование, понижая кислотность почвы, одновременно повышает газообразные потери азота. При проведении этого приема они возрастают в 1,5—2 раза [326]. Такая реакция почв на внесение мелиорантов является результатом изменений в направленности микробиологических процессов, что может являться причиной нарушения геохимических круговоротов. В связи с этим Г.В. Добровольским высказываются сомнения в целесообразности использования известкования [167]. Известкование усугубляет и другую про-

блему — загрязнения почв токсическими элементами.

#### **1.4. Обогащение почв сопутствующими элементами, содержащимися в минеральных удобрениях и мелиорантах**

Минеральные удобрения являются основным источником загрязнения почв тяжелыми металлами и токсичными элементами. Это связано с содержанием в сырье, используемом для производства минеральных удобрений, стронция, урана, цинка, свинца, ванадия, кадмия, лантаноидов и других химических элементов. Их полное извлечение или не предусматривается вообще, или осложняется технологическими факторами [11, 226]. Поэтому они в качестве примесей частично входят в состав суперфосфатов, калийных удобрений, извести и фосфогипса. Возможное содержание сопутствующих элементов в суперфосфатах и в других видах минеральных удобрений, широко применяемых в современном земледелии, приведено в табл. 6 и 7.

*Таблица 6*

**Содержание примесей в суперфосфатах, мг/кг [465]**

Примесь	Содержание	Примесь	Содержание
Мышьяк	1,2—2,2	Свинец	7—92
Кадмий	50—170	Никель	7—32
Хром	66—243	Селен	0—4,5
Кобальт	0—9	Медь	4—79
Ванадий	20—180	Цинк	50—143

В больших количествах элементы-загрязнители обнаруживаются в извести. Ее внесение в количестве 5 т/га может изменить природные уровни кадмия в почве на 8,9 % от валового содержания [442].

При внесении минеральных удобрений в дозе 109 кг/га ИРК в по поступает примерно 7,87 г меди, 10,25 — цинка, 0,21 — кадмия, 3,36 свинца, 4,22 — никеля, 4,77 — хрома [44]. По расчетам ЦИНАО, за весь период использования фосфорных удобрений в почвы бывшего СССР внесено 3200 т кадмия, 16 633 — свинца, 553 — ртути [336]. В опы проведенных на Долгопрудной агрохимической станции, применен! течение 60 лет минеральных удобрений в дозе  $N_{60-90}P_{80-90}K_{80-120}$  в раза повышало содержание в почве фтора и в 4 раза — подвижного стронция [450]. Большая часть химических элементов, попавши почву, находится в слабоподвижном состоянии. Период полувыведе кадмия составляет 110 лет, цинка — 510, меди — 1500, свинца - несколько тысяч лет [564].

**Содержание тяжелых металлов в удобрениях и извести, мг/кг [343]**

Вид удобрения	Zn	Cu	Ni	Pb	Fe
Хлористый калий	3,11	8,67	4,33	8,67	680,53
Аммиачная селитра	0,20	0,25	0,84	0,05	603,00
Известь	10,83	12,67	26,00	26,50	4853,00

Загрязнение почвы тяжелыми и токсическими металлами ведет к накоплению их в растениях. Так, в Швеции концентрация кадмия в пшенице за текущее столетие увеличилась вдвое. Там же, при применении суперфосфата в суммарной дозе 1680 кг/га, внесенной частями за 5 наблюдали повышение содержания кадмия в зерне пшеницы в 3,5 [341]. По данным Ю.А. Потатуйевой с соавторами, при загрязнении вы стронцием происходило трехкратное увеличение его содержания клубнях картофеля [450]. В России пока еще не уделяется необходи внимания загрязнению растениеводческой продукции химическими элементами. Имеются только разрозненные данные организаций, тролирующих качество продуктов питания. По данным Свердловской санитарно-эпидемиологической службы, в 1991 г. доля образцов овощей и бахчевых культур, не соответствующих нормам по содержанию свинца, составила 1,2, а кадмия — 7,2% [415].

Использование загрязненных растений в качестве продуктов питания или кормов является причиной возникновения у человека и сельскохозяйственных животных различных заболеваний. К наиболее опасным тяжелым металлам относят ртуть, свинец и кадмий. Попадание в организмнизм человека свинца ведет к нарушениям сна, общей слабости, ухудшению настроения, нарушению памяти и снижению устойчивое бактериальным инфекциям [364, 606]. Накопление в продуктах питания кадмия, токсичность которого в 10 раз выше свинца, вызывает разрушение эритроцитов крови, нарушение работы почек, кишечника, размягчение костной ткани [340]. Парные и тройные сочетания тяжелых металлов (ТМ) усиливают их токсический эффект [606]. Определенную опасность представляют и другие элементы.

Экспертным комитетом ВОЗ разработаны нормативы поступления в человеческий организм тяжелых металлов. Предусматривается, что каждую неделю здоровый человек массой 70 кг может получать с пищевыми продуктами, без вреда для своего здоровья, не более 3,5 мг свинца, 0,625 мг кадмия и 0,35 мг ртути [640].

В связи с возрастанием загрязнения продуктов питания были приняты нормативы содержания ТМ и ряда химических элементов в продукции растениеводства (табл. 8).

Таблица 8

**Предельно допустимые концентрации химических элементов,  
мг/кг сырого продукта [29]**

Элемент	Хлебные продукты и зерно	Овощи	Фрукты	Молочные продукты
Ртуть	0,01	0,02	0,01	0,005
Кадмий	0,02	0,03	0,03	0,01
Свинец	0,2	0,5	0,4	0,05
Мышьяк	0,2	0,2	0,2	0,05
Медь	5	10	10	0,5
Цинк	25	10	10	5,0
Железо	50	50	50	3,0
Олово"	—	200	100	100,0
Сурьма	0,1	0,3	0,3	0,05
Никель	0,5	0,5	0,5	0,1
Селен	0,5	0,5	0,5	0,5
Хром	0,2	0,2	0,1	0,1
Алюминий	20	30	20	1,0
Фтор	2,5	2,5	2,5	2,5
Йод	1	1	1	0,3

Загрязнение растениеводческой продукции ТМ и химическими элементами опасно для человека не только при непосредственном ее употреблении, но и при использовании на кормовые цели. Например, скармливание коровам растений, выращенных на загрязненных почвах, привело к увеличению концентрации кадмия в молоке до 17—30 мг/л [645], в то время как допустимый уровень составляет 0,01 мг/л.

Для предотвращения накопления химических элементов в молоке, мясе, исключения возможности отрицательного их влияния на состояние сельскохозяйственных животных во многих странах принимаются предельно допустимые концентрации (ПДК) для химических элементов, содержащихся в кормовых растениях. По стандартам ЕЭС безопасное содержание свинца в фураже составляет 10 мг/кг сухого вещества. В Нидерландах допустимый уровень содержания кадмия в зеленых кормах равен 0,1 мг/кг сухой массы [29, 341].

Фоновое содержание химических элементов в почвах приведено в табл. 9. При накоплении ТМ в почве и последующем поступлении их в растения они концентрируются в основном в вегетативных органах, что объясняется защитной реакцией растений [200]. Исключение составляет кадмий, который легко проникает как в листья и стебли, так и в генеративные части [212]. Для правильной оценки степени накопления в растениях различных элементов необходимо знать их обычное содержание — то, которое наблю-



дается при выращивании сельскохозяйственных культур на незагрязненных почвах. Сведения по этому вопросу довольно разноречивы. Это объясняется большими различиями в химическом составе почв. Фоновое содержание свинца в почвах равно примерно 30, а кадмия — 0,5 мг/кг [123]. Концентрация свинца в растениях, выращиваемых на чистых грунтах, составляет 0,009—0,045, а кадмия — 0,011—0,67 мг/кг сырого вещества [658].

Таблица 9

Содержание некоторых элементов в пахотных почвах, мг/кг [479]

Элемент	Обычное содержание	ПДК	Элемент	Обычное содержание	ПДК
As	0,1—20	20	Ni	2—50	50
B	5—20	25	Pb	0,1—20	100
Be	0,1—5	10	Sb	0,01—0,5	5
Br	1—10	10	Se	0,01—5	10
Cd	0,01—1	3	Sn	1—20	50
Co	1—10	50	Tl	0,01—0,5	1
Cr	2—50	100	Ti	10—5000	5000
Cu	1—20	100	U	0,01—1	5
F	50—200	200	V	10—100	50
Ga	0,1—10	10	Zn	3—50	300
Hg	0,01—1	2	Mo	0,2—5	200

Необходимость установления жестких норм по загрязнению растений объясняется тем, что при выращивании их на загрязненных почвах содержание отдельных элементов может увеличиваться в десятки раз. В то же время некоторые химические элементы становятся токсичными при трех- и даже двукратном увеличении их концентрации. Например, содержание меди в растениях обычно составляет примерно 5—10 мг/кг в расчете на сухую массу. При концентрации 20 мг/кг растения становятся токсичными для овец, а при 15 мг/кг — для ягнят [479]. Таким образом, к загрязнению растений и почв химическими элементами следует относиться с большим вниманием.

В настоящее время проводятся исследования по определению ПДК химических элементов в почвах. В ряде стран они уже приняты к исполнению. Чаще всего ПДК по кадмию составляет 3, ртути — 2, свинцу — 100 мг/кг [640]. Превышение указанных уровней содержания химических элементов в почвах отрицательно отражается на качестве сельскохозяйственных культур. В них снижается содержание витаминов, ухудшается биологическая полноценность белка. При выращивании растений на загрязненных ТМ грунтах происходят нарушения в обмене веществ отдельных органов, угнетается рост. По сведениям Л.Г. Бондарева (цит. по: В.Г. Минеев [341]), продуктивность основных сельскохозяйственных культур при выращивании их на почвах, содержащих ТМ, снижается на 20—47%. Воздействию ТМ подвергаются и генетические структуры растений.

В результате всестороннего изучения последствий загрязнения почвы некоторые исследователи пришли к заключению, что принятые ПДК не могут полностью исключить отрицательного влияния ТМ и ряда химических элементов на урожай сельскохозяйственных культур и его качество. Оказывается, различные растения неодинаково реагируют на присутствие в почве загрязнителей. Так, фасоль в 10—15 раз чувствительнее кукурузы к кадмию [479]. Поэтому необходимо дальнейшее уточнение принятых ПДК. По мнению некоторых исследователей, ПДК по кадмию должно составлять не 3 мг/кг, а значительно меньше. Это связано с тем, что безопасный уровень для картофеля составляет только 1,5, а зеленных — 0,5 мг/кг [214]. Корректировка пороговых концентраций необходима и тогда, когда в почве присутствует не один элемент-загрязнитель, а несколько. Так, если марганец и ванадий присутствуют в почве одновременно, то их ПДК уменьшается в два раза [75]. Такой же эффект наблюдается при загрязнении почвы ртутью и свинцом. В опытах с капустой было установлено, что если в субстрате одновременно обнаруживаются оба этих элемента, то их допустимые уровни должны быть уменьшены вдвое [523].

Приведенные примеры показывают, что эффективность земледелия, его возможности в условиях продолжающегося поступления в почвы различных химических элементов неизбежно будут снижаться. И одной из причин этого является ограничение нашей свободы при выборе культур, пригодных для выращивания на загрязненных почвах. Специфичность реакции растений затруднит составление севооборота. В него уже нельзя будет включать менее устойчивые к загрязнению культуры.

Одним из последствий применения минеральных удобрений является повышение радиоактивности окружающей среды. В окультуренных почвах Германии с начала применения фосфорных удобрений содержание урана и радия возросло соответственно на 9 и 6% [149]. Это является следствием содержания в фосфорных удобрениях радиоактивных элементов. Они, концентрируясь в продуктах питания и кормах, могут повышать уровень внутреннего облучения человека и сельскохозяйственных животных.

Увеличение содержания ТМ в почве отражается и на ее химических свойствах. Прежде всего, подвергается изменению ферментативная активность. Например, при содержании в перегноино-глееватых почвах 5 мг/кг кадмия наблюдается снижение активности дегидрогеназы и инвертазы, а при концентрации 7 мг/кг происходит полное подавление этих ферментов [50].

Кроме растений, отрицательное влияние ТМ, а также токсичных элементов испытывает на себе и почвенная биота. При загрязнении почв хромом, цинком, никелем и свинцом, на уровне одного-двух кларков, уменьшается численность бактерий, сокращается видовой состав микроорганизмов, насекомых и дождевых червей. В то же время увеличивается количество грибов, то есть происходит нарушение структуры пе-доценоза [90, 317]. Особое беспокойство должно вызывать снижение азотфиксирующих свойств почвы,

которое наблюдается при ее загрязнении различными химическими элементами.

Удвоение фонового содержания металлов в почве при интенсивном применении удобрений возможно за 80 и более лет [646, 343]. Но при этом необходимо помнить, что одновременно почва загрязняется целым комплексом элементов, присутствующих в удобрениях. Следовательно, опасный уровень загрязнения будет достигаться значительно быстрее.

Большую озабоченность вызывает загрязнение почв фтором. Он входит в состав суперфосфатов и фосфогипса в количестве 1—5%. Ежегодное использование таких удобрений способствует повышению его содержания в почве на 5% [265], а при длительном применении фосфорных удобрений (в течение 15 лет и более) содержание фтора в слое почвы 0—30 см может увеличиться в 1,7—5 раз [500].

При накоплении фтора в почве его концентрация в растениях увеличивается в несколько раз и может достигать 77,6 мг/кг [170]. Это отрицательно отражается на продуктивности растений, приводит к загрязнению продукции растениеводства и увеличивает вероятность возникновения заболеваний у человека, а также сельскохозяйственных животных. При скармливании коровам кормов с содержанием фтора более 40 мг/кг они заболевают флюорозом, а концентрация этого элемента в молоке повышается более чем в два раза [634].

По данным японских ученых, поступление фтора в организм человека с продуктами питания и водой к 1965 г., по сравнению с 1958 г., увеличилось в 2,7 раза. Усиливающееся загрязнение окружающей среды фтором даже дало основание правительству Швеции для запрещения его использования при дезинфекции воды [121].

Наряду с фтором в кальций-, гипсосодержащих и известковых мелиорантах обнаруживается относительно большое количество (1—2%) стабильного стронция. С обычной нормой фосфогипса в почву поступает от 100 до 400 кг/га этого элемента [346]. Его опасность состоит в том, что в организме человека и сельскохозяйственных животных стронций вступает в конкурентные отношения с кальцием, замещая его в костных тканях. Избежать отрицательного влияния стронция можно только в том случае, если его содержание в продуктах питания и кормах будет в 140 раз меньше, чем кальция. Применение мелиорантов и удобрений, содержащих стронций, как правило, изменяет это соотношение. Так, в результате использования фосфогипса отношение Ca:Sr снизилось у овса со 105 до 68, проса — с 64 до 61, ячменя — с 67 до 61, донника — с 60 до 46 [53].

При прогнозировании загрязнения почвы следует учитывать и возможное поступление элементов, имеющих техногенное происхождение [620, 643, 655]. Аэрозольное распространение ТМ от промышленных районов достигает 25 км. В ряде стран Западной Европы на 1 га пашни с удобрениями и аэрозольным путем ежегодно поступает около 10 г кадмия, в том числе 3—5

г с суперфосфатом, при валовом его содержании в слое почвы 0—15 см 0,2—2 кг/га [654, 657, 647]. Загрязнение почв соединениями тяжелых металлов в некоторых странах достигло такого уровня, что возникли трудности с использованием сельскохозяйственных угодий [649]. Аналогичная ситуация складывается вокруг крупных промышленных центров в России. На Среднем Урале почти все пахотные земли в округе Ревды, Первоуральска, Нижнего Тагила не пригодны для получения диетической продукции. Сведения о поступлении металлов в почвы с атмосферными осадками в европейской части России приведены в табл. 10.

Принимая во внимание опасность накопления в почве тяжелых, токсичных и радиоактивных элементов производители удобрений в ФРГ в 1986 г. приняли решение о введении норм на содержание в них кадмия. Однако извлечение из сырья, используемого для производства фосфорных удобрений, только этого элемента не исключит загрязнения почв [657, 623]. Более радикальным шагом, хотя и не решающим все проблемы, следует считать предложение о необходимости снизить объемы применения фосфорных удобрений [627].

Таблица 10

**Поступление металлов с жидкими атмосферными осадками  
в Тульской области, мг/м<sup>2</sup> в год [554]**

Элемент	Район наблюдений			
	Тульские засеки	г. Тула	Усадьба Ясная Поляна	Угледобы- вающий район
Железо	84	263	133	210
Медь	14	84	42	7
Марганец	2,8	118	73	70
Цинк	49	185	112	70
Кобальт	1,2	11	2,6	1,8
Никель	4,2	15,4	8,4	7
Хром	3,5	20,3	9,8	8,6
Свинец	1,4	24,5	8,4	7,7
Кадмий	0,1	19	2,1	1,8

Поступление в почвы различных химических элементов значительно осложняет определение безопасного уровня. Установленные ПДК обеспечивают безвредность среды только тогда, когда в ней содержится один загрязняющий компонент. Если появляются другие, то они могут усиливать отрицательное воздействие друг друга. Поэтому при комплексном загрязнении среды необходимы другие подходы к установлению его безопасного уровня. Считается, что он может определяться следующим образом:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_n$  — концентрация загрязняющего элемента в среде;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$  — предельно допустимая концентрация элемента для данной среды.

Однако приведенный порядок определения безопасного уровня загрязнения химическими элементами неприемлем для почв. Это объясняется тем, что в них всегда наблюдается определенное фоновое содержание разнообразных химических элементов. И поэтому допустимый уровень загрязнения должен устанавливаться с учетом фонового содержания химических элементов, их поступления с минеральными удобрениями, мелиорантами, атмосферными осадками, а также с учетом миграционных процессов. Для этого, по нашему мнению, в вышеприведенный порядок необходимо внести следующие изменения. Показатели  $C_1, C_2 \dots C_n$  — должны определяться по следующей схеме:

$$C = \text{Оф} - \text{Фк},$$

где  $\text{Оф}$  — общая (фактическая) концентрация элемента в почве, мг/кг;

$\text{Фк}$  — фоновая (кларковая) концентрация элемента в почве, мг/кг.

Предложенный порядок определения безопасного уровня загрязнения почв учитывает: содержание химических элементов в почве, их привнесение, вымывание, а также установленные ПДК.

### **1.5. Минеральные удобрения и гигиенические проблемы, возникающие в связи с их использованием**

Среди проблем, возникающих в условиях интенсивной химизации сельскохозяйственного производства, все возрастающее внимание уделяется нитратному загрязнению питьевой воды и продуктов питания. Это объясняется тем, что нитраты и вещества, образующиеся в результате их превращений, способны оказывать неблагоприятное влияние на организм человека и сельскохозяйственных животных [6].

#### *1.5.7. Влияние нитратов на организм человека и сельскохозяйственных животных*

Нитраты, попадая в желудочно-кишечный тракт человека и сельскохозяйственных животных, подвергаются многочисленным биохимическим превращениям. Один из путей их трансформации заключается в том, что под действием микрофлоры они восстанавливаются до нитритов. Токсичность образовавшихся соединений в 20 раз выше исходных [363, 567]. Нитриты, попадая в кровь, взаимодействуют с гемоглобином и превращают последний в метгемоглобин, который не способен выполнять функцию переносчика ки-

слорода. Особенно опасно появление метгемоглобина в крови для детей раннего возраста. Это объясняется низкой кислотностью в их желудке, которая благоприятствует развитию микроорганизмов, участвующих в превращении нитратов в нитриты, отсутствием хорошо сформированных ферментных систем перевода метгемоглобина в гемоглобин и потреблением на единицу массы тела больших объемов жидкости по сравнению с взрослыми [391, 630]. Расчеты показывают, что при употреблении одних и тех же продуктов нитратно-нитритная нагрузка для детей в возрасте от 6 месяцев до 6 лет на 84,0—111,1% больше, чем для взрослых [567].

Обследование шестилетних детей с целью выяснения влияния нитратной нагрузки на физическое развитие показало, что при использовании воды с повышенным содержанием нитратов у них уменьшается мышечная сила рук, окружность грудной клетки, жизненная емкость легких, ухудшаются показатели иммунитета [412, 256].

Следствием хронической интоксикации организма человека нитратами и нитритами является изменение биотоков головного мозга, снижение умственной и физической работоспособности, ослабление иммунной системы, появление стойких аллергических реакций [372, 251]. Возникновение метгемоглобинии не всегда сопровождается внешне заметными симптомами, что усложняет диагностирование заболевания [357]. Нитриты, включаясь в обменные процессы, могут изменять активность некоторых ферментов и повышать, прямым или косвенным путем, чувствительность организма к действию канцерогенных и мутагенных факторов [215]. Эпидемиологические исследования обнаружили наличие прямой связи между содержанием нитратов в продуктах питания и смертностью от рака желудка [18].

Опасность накопления в продуктах питания нитратов и нитритов кроется и в возможности образования с их участием нитрозоаминов. Эти соединения по отношению к животным организмам, даже в ничтожных количествах, проявляют канцерогенные, мутагенные, эмбрио-токсические и тератогенные свойства [71].

Появление нитрозоаминов в растениях происходит несколькими путями. Первый заключается в образовании их в почве под действием азотсодержащих удобрений и пестицидов, а другой — в возможном синтезе в тканях растений, имеющих высокое содержание нитратов [344].

В человеческий организм нитрозоамины могут попадать как с продуктами питания, так и вследствие их образования в желудке, если в него одновременно попадают нитрит и вторичный амин. Некоторые виды микроорганизмов желудочно-кишечного тракта могут активизировать этот процесс. Обнаружены и химические катализаторы реакции нитрозирования. Например, у курящих людей в слюне содержится тиоционат, обладающий такими свойствами [71].

Образование нитрозоаминов в организме человека возможно в ротовой полости, кишечнике и инфицированном мочевом пузыре [18]. Некоторые

лекарственные препараты (пирамидон, тетрациклин), реагируя с нитратами, также образуют нитрозоамины [71].

Аналогичное действие нитраты и их производные оказывают на сельскохозяйственных животных. Длительное поступление нитратов в организм крупного рогатого скота в дозах, обычно не оказывающих отрицательного влияния, но на фоне йодного голодания и недостаточности в рационе белка создает условия для более тяжелого течения микроэлементной недостаточности [72, 171]. При хроническом отравлении животных соединениями минерального азота ухудшается усвоение каротина, ингибируются ферментные процессы в рубце, ограничивается продукция летучих жирных кислот с изменением их соотношения, нарушаются воспроизводительные способности [92, 629]. Содержание нитратов в сухом веществе рационов сельскохозяйственных животных не должно превышать 0,2% или 5—6 г на 1 кг живой массы. Летальная доза нитратов для коров массой 500 кг соответствует 250 г в сутки [120].

#### *1.5.2. Причины появления нитратов в питьевой воде и продуктах питания*

Увеличение содержания минеральных форм азота в грунтовых и подземных водах усугубляет санитарно-гигиеническую обстановку среди населения, пользующегося этими источниками. Особую остроту эта проблема имеет в тех регионах, где из-за загрязнения или недостаточности ресурсов поверхностных вод переходят на эксплуатацию подземных бассейнов. Например, во Франции 63% общей потребности в питьевой воде удовлетворяется за счет подземных вод. В то же время в этой стране за последние 15 лет рост содержания нитратов в подземных водах составляет 1—6 мг/л в год [652]. Подобные данные получены при обследовании грунтовых вод на территории Германии. Там около 3 млн. человек потребляет воду, содержащую повышенные концентрации нитратов. Она в некоторых источниках достигает 90 мг/л, что почти в два раза больше допустимой [651, 499]. В бывшей ЧССР в районах интенсивного применения удобрений содержание нитратов в воде достигло 120—240 мг/г [437].

В настоящее время проводится работа по уточнению предельно допустимых концентраций (ПДК) нитратов в питьевой воде. Если ранее их значения были более высокими, то в последние годы они ужесточаются. Так, с 1976 г. содержание нитратов в питьевой воде в ФРГ ограничивалось 90 мг/л, а с 1986 г. — 50 мг/л. Но и этот уровень, видимо, не исключает их отрицательного влияния на здоровье населения. Поэтому комиссия ЕЭС предлагает снизить допустимые уровни содержания нитратов в воде до 25 мг/л и ниже [637].

По рекомендациям ВОЗ, которым соответствуют требования ГОСТа "Питьевая вода", содержание нитратов не должно превышать 10 мг/л по азоту или 45 мг/л по кислотному остатку [391]. Принимая во внимание высокую

чувствительность детей к нитратам, для них этот показатель не должен превышать 15 мг/л [436]. Более жесткие нормы содержания минеральных соединений азота, по сравнению с общепринятыми, очевидно, должны быть предусмотрены для профессиональных спортсменов и лиц, активно занимающихся физическими упражнениями. У этих групп населения потребность в питьевой воде обычно увеличена на 1,0—1,5 л/сутки. Поэтому содержание нитратов в воде на уровне общепринятых ПДК не может служить полной гарантией ее безвредности.

Сравнение установленных ПДК по нитратам с уровнем их реального содержания указывает на необходимость безотлагательных мер по предотвращению загрязнения питьевых водоисточников. При проверке 86 тыс. колодцев, расположенных на территории бывшей ФРГ, в 36 тыс. содержание нитратов превышало 50 мг/л [638]. В США и Нидерландах загрязненность питьевой воды нитратами на уровне 45—50 мг/л встречается в 30—50% анализов [250]. Не являются исключением и страны СНГ. Половина источников водоснабжения в Молдове содержат нитраты в количествах, превосходящих гигиенические нормы [612]. В питьевых колодцах Ленинградской, Московской и других областей уровень нитратов достигает 70—100 мг/л [336].

Содержание нитратов в растениеводческой продукции зависит от ряда факторов: сбалансированности питания макро- и микроэлементами, освещенности, влаго- и теплообеспеченности, а также биологических особенностей растений. Но решающим условием является использование азотных удобрений. В наших исследованиях, проведенных в УралНИИСХозе, увеличение дозы азота с 90 до 270 кг/га вызывало повышение содержания нитратов в кормовой свекле при ее выращивании в неорошаемых условиях со 150—450 до 610—940 мг/кг [395]. В качестве примера можно привести и данные о влиянии удобрений на содержание нитратов в овощах (табл. 11).

*Таблица 11*

**Влияние минеральных удобрений на содержание нитратов в овощах, мг/кг сырой массы [100]**

Дозы удобрений	Капуста		Дозы удобрений	Морковь	Свекла
	Московская поздняя	Амагер			
Без удобрений	70	180	Без удобрений	280	240
N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	280	270	N <sub>45</sub> P <sub>30</sub> K <sub>75</sub>	330	760
N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	220	230	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	300	1160
N <sub>210</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	290	350	N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	370	1410
N <sub>270</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	500	420	N <sub>210</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	320	1980



Основной причиной увеличения содержания нитратов в растениеводческой продукции при внесении азотных удобрений является разбалансировка азотного обмена и процессов фотосинтеза. Накопление белкового азота при улучшении минерального питания следует считать нормальной приспособительной реакцией, предотвращающей нарушения внутреннего гомеостаза. Но это свойство растений ограничено метаболическими возможностями, и при исчерпании адаптивного потенциала происходит накопление нитратов. Поэтому их появление выше определенной точки следует считать первым признаком нарушений обмена веществ и, очевидно, должно быть использовано для установления оптимального уровня азотного питания.

Согласно гигиеническим нормам, предельно допустимые концентрации нитратов в овощах, принятые в бывшем СССР до 1988 г., соответствовали следующим уровням: капуста — 300, морковь — 300, свекла — 1400, картофель — 80, томат — 60 мг/кг сырой массы [436]. В дальнейшем они были пересмотрены и по отдельным культурам увеличены. На сегодняшний день Министерством здравоохранения установлены следующие ПДК (по  $\text{NO}_3$ ): капуста — 500, морковь — 250, свекла — 1400, картофель — 250, томат — 150 мг/кг сырой массы [590]. Однако некоторые специалисты считают ослабление требований на ограничение содержания нитратов необоснованным, совершенным под давлением производителей растениеводческой продукции. Анализ растениеводческой продукции, поступающей в магазины и столовые Свердловска, показал, что из 8 видов овощей и фруктов только в яблоках содержание нитратов не превышало ПДК [105]. В Ленинградской области 31% проверенных образцов содержали нитраты выше допустимых норм [185].

В Эстонии в период с 1984 по 1987 г. на содержание нитратов было проверено свыше 161 500 проб. Превышение допустимых уровней было отмечено в 68% проб столовой свеклы, 66 — капусты и 41 — картофеля. На Украине за этот же период содержание нитратов в овощах увеличилось в 1,7—3 раза. В 13% проанализированных образцов выявлено превышение допустимых норм [99, 47, 477]. В 1988 г. из 303 292 образцов растениеводческой продукции, проверенных санэпидслужбами в бывшем СССР, 14,4% овощей и фруктов было забраковано [163]. В 90-х годах из-за снижения объемов применения минеральных удобрений содержание нитратов в сельскохозяйственной продукции снизилось. В 1997 г. в России было проанализировано 17136 образцов. В 1146 содержание нитратов превысило допустимые уровни [394].

Суммарная максимально допустимая суточная доза нитратов (с продуктами питания и водой), не оказывающая отрицательного влияния на организм человека, соответствует 200—220 мг  $\text{NO}_3$  или 3,6 мг  $\text{NO}_3$  на 1 кг массы тела. Однако эти цифры нуждаются в уточнении, так как при их определении не учитывалась возможность образования из нитратов более токсичных веществ. Кроме того, было установлено, что поступление нитратов и нитритов в дозах на уровне рекомендованных ПДК, но в течение длительного периода

ведет к возникновению нарушений в живых организмах [437, 266].

В настоящее время ежедневная нитратная нагрузка только с продуктами питания (без воды) составляет в Швейцарии 108, Нидерландах — 135, Японии — от 240 до 400 мг [437]. В ряде стран повышенное содержание нитратов стало причиной 20% всех пищевых отравлений [116]. Поступление нитратов с продуктами питания и водой в человеческий организм в России в конце 80-х годов составляло 150—350 мг, а в некоторых районах — 500 мг в сутки [18, 612].

С целью выявления агротехнических приемов, снижающих содержание нитратов в сельскохозяйственных растениях, проведено много исследований. Изучалось локальное и дробное внесение удобрений, различные формы азотных удобрений, ингибиторы нитрификации, сбалансированность минерального питания по отдельным элементам. Все перечисленные приемы позволяли только в небольшой степени снизить накопление нитратов.

В наших исследованиях, проведенных совместно с Н.М.Данько, изучалась возможность снижения содержания нитратов в кормовых культурах. Для этого часть азотных удобрений вносилась не в почву, а путем некорневой подкормки растений кормовой свеклы (табл. 12).

Из данных таблицы видно, что только в варианте без внесения удобрений содержание нитратов не превышало допустимый уровень, установленный для кормов (0,2% от сухого вещества). Уменьшение доз азота и внесение его части при некорневой подкормке хотя и снижало содержание нитратов, но не давало полной гарантии получения качественной продукции.

*Таблица 12*

**Влияние доз и способов внесения минеральных удобрений на содержание нитратов в корнеплодах кормовой свеклы**

Вариант	Содержание нитратов, % в абсолютно сухом веществе
Без удобрений	0,12
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,47
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,19
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,22
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + однократная некорневая N <sub>30</sub>	0,36
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + двукратная некорневая по N <sub>15</sub>	0,24
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + трехкратная некорневая по N <sub>10</sub>	0,16
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + трехкратная некорневая N <sub>5</sub> , N <sub>10</sub> , N <sub>15</sub>	0,24
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + шестикратная некорневая по N <sub>5</sub>	0,24

Самым эффективным способом является снижение доз вносимого технического азота. Как правило, использование удобрений в количестве 60—

100 кг/га не вызывает превышения допустимых уровней содержания нитратов. Но это не гарантирует достижение результата во всех случаях, что и подтверждается нашими исследованиями. В настоящее время известны примеры высокого содержания нитратов и при внесении небольших количеств азотных удобрений вследствие воздействия на растения каких-либо неблагоприятных условий [437].

## **1.6. Влияние удобрений на качество продуктов растениеводства и животноводства**

Повышая урожайность сельскохозяйственных культур, минеральные удобрения в значительной степени влияют на их качество. Биохимические исследования показывают, что существенные изменения происходят в содержании белков, углеводов, витаминов и микроэлементов. Большинство специалистов, изучавших этот вопрос, указывают на нежелательную перестройку в биохимическом составе только при внесении высоких или средних доз. Но имеются данные об ухудшении биологической полноценности растениеводческой продукции и при использовании небольших количеств минеральных удобрений, что не должно оставаться без внимания.

На повышение содержания в растениях сырого протеина под действием азотных удобрений чаще всего обращается внимание в кормопроизводстве. Большинство специалистов считают это положительным моментом и используют в качестве одного из аргументов, подтверждающих необходимость внесения технического азота. И с этим нельзя не согласиться. Но, вместе с тем, такое утверждение не всегда полностью оправдывается при более глубоком рассмотрении наблюдаемого явления. Прежде всего это относится к изменению соотношения между белковыми и небелковыми формами азота, обнаруживаемого в растениях. Оказывается, азотные удобрения увеличивают в растениях содержание, главным образом, простых азотистых соединений. Белковость растений повышается в меньшей степени, а в ряде случаев даже снижается. Из нижеприведенных данных видно (табл. 13), что содержание белкового азота в райграсе по мере повышения доз азотных удобрений уменьшается, а нитратного — увеличивается. Следовательно, учитывая возможность ухудшения здоровья сельскохозяйственных животных или снижения их продуктивности при накоплении в кормах простых соединений азота, факт увеличения содержания сырого протеина в растениях можно толковать и с другой стороны.

**Влияние доз азотных удобрений на состав азотсодержащих веществ  
в райграсе пастбищном, % от общего [237]**

Доза азота, кг/га	Белковый	Нитратный	Аммиачный	Амидный
0	91,0	3,0	5,0	1,0
50	90,5	4,5	4,2	0,8
100	85,1	7,0	6,8	1,1
200	88,6	6,2	3,8	1,4
400	87,3	7,2	4,0	1,5

Взвешивая положительные и отрицательные моменты увеличения содержания азотистых веществ в растениях, не следует оставлять без внимания и другие изменения, возникновение которых находится в прямой зависимости от рассматриваемого явления. Практически все исследователи, изучавшие влияние азотных удобрений на биохимический состав растений, отмечают наличие отрицательной связи между содержанием сырого протеина и углеводов. Это объясняется тем, что синтез азотсодержащих веществ происходит за счет углеводистых соединений. Но присутствие последних в рационах сельскохозяйственных животных, как основного энергетического материала, имеет не меньшее значение.

Сбалансированность кормов по обеспеченности углеводами оценивается по сахаропротеиновому отношению. Оптимальное его значение для молочного скота соответствует 1:1,0—1,5. Внесение минеральных удобрений ведет к его нарушению (табл. 14).

Таблица 14

**Влияние удобрений на кормовые достоинства пастбищной травы [292]**

Доза удобрений	Содержится в сухом веществе травы, %		Сахаро- протеиновое отношение	Расход на 1 кг 4% молока	
	сахара	сырого протеина		кормовых единиц	переваривае- мого протеина
Без удобрений	12,1	11,4	1,06	0,91	84
N <sub>120</sub> P <sub>72</sub> K <sub>120</sub>	8,9	13,4	0,66	1,12	124
N <sub>360</sub> P <sub>150</sub> K <sub>360</sub>	9,1	17,4	0,52	1,24	164

Уменьшение содержания углеводов в растениях вызывает неполное

извлечение из кормов питательных веществ и в том числе азотсодержащих. Таким образом, повышение насыщенности рационов сельскохозяйственных животных сырым протеином на фоне недостаточного обеспечения углеводами может стать причиной увеличения расхода кормов на единицу производимой животноводческой продукции.

К сельскохозяйственным растениям, подверженным очень сильному изменению биохимического состава под влиянием минеральных удобрений, следует отнести картофель. Качество этой культуры во многом определяется уровнем содержания крахмала. В опытах польских ученых установлено, что крахмалистость клубней при внесении  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , по сравнению с неудобренным фоном, снижалась с 21,3 до 20,0% [182]. В других исследованиях даже в два раза меньшие дозы применяемых удобрений уменьшали содержание крахмала в картофеле с 16,5 до 14,4—15,3% [132].

Под влиянием минеральных удобрений в растениях происходят и более глубокие биохимические изменения. В частности, возможно ухудшение аминокислотного состава. Так, в белке зерна кукурузы при ее выращивании без удобрений на долю лизина и триптофана приходилось 3,06 и 0,574%. Внесение азотных удобрений вызывало снижение содержания этих аминокислот соответственно до 2,41 и 0,476% [131]. В опыте, проведенном на кафедре агрохимии УрСХА, при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{80}K_{80}$  на фоне повышения белковости зерна озимой пшеницы отмечено заметное снижение всех без исключения незаменимых аминокислот [310]. Аналогичные закономерности проявились и при изучении биохимического состава зерна озимой ржи [289]. Значит, питательная ценность белка растений, выращенных с применением минеральных удобрений, может ухудшиться в результате изменения в неблагоприятную сторону соотношения между заменимыми и незаменимыми аминокислотами. Это подтверждается опытами, проведенными на лабораторных животных [301].

В некоторых исследованиях под влиянием технического азота ( $N_{30,60,90}$ ) наблюдалось уменьшение содержания витамина С в картофеле и каротина в моркови [496, 490, 590]. Далее приведены данные о воздействии минеральных удобрений на качество капусты (табл. 15).

Таблица 15

**Влияние минеральных удобрений на качество капусты [14]**

Вариант	Содержание в кочанах			
	Сухого вещества, %	Общего сахара, %	Витамина С, мг%	$NO_3$ , мг/кг сырой массы
Без удобрений	9,81	5,28	52,62	126
$N_{135}P_{90} K_{90}$	8,85	4,98	44,67	319

Обеднение растений, используемых в качестве продуктов питания или

кормов, незаменимыми аминокислотами является одной из причин ограниченного синтеза в организме человека и сельскохозяйственных животных некоторых белков, снижения темпов роста, продуктивности. При недостатке витаминов нарушается обмен веществ, снижается устойчивость к болезням и загрязнению окружающей среды.

Многочисленные исследования по выявлению влияния минеральных удобрений на свойства растений проведены в МГУ Н.С. Авдониным. Результаты его опытов с томатами приведены в табл. 16. Минеральные удобрения оказывают влияние и на специфические свойства сельскохозяйственных культур. Так, в гречихе содержится определенное количество рутина. Благодаря наличию этого соединения гречневая каша относится к диетическим продуктам и используется при лечении ряда заболеваний. Внесение азота при выращивании гречихи в количестве 15—105 кг/га приводит к заметному снижению содержания рутина, а значит, и ухудшению диетических свойств гречневой крупы [314]. В корнеплодах столовой свеклы при внесении минеральных удобрений одновременно со снижением содержания сухого вещества и сахаристости отмечено уменьшение содержания бетаина и, наоборот, повышение общей кислотности [590].

Таблица 16

**Влияние минеральных удобрений на качество томатов [4]**

Вариант	Сумма сахаров, % на сухое вещество	Белки, % на сухое вещество	Витамин С, мг% на сырое вещество	Каротин, мг% на сырое вещество	Общая кислотность, % на сырое вещество
Без удобрений	30,5	7,75	12,8	0,20	0,42
N	27,4	8,35	8,5	0,22	0,47
NK	27,5	9,55	10,2	0,20	0,54
NP	27,0	9,50	9,7	0,24	0,45
PK	30,5	7,61	11,4	0,20	0,46
NPК	26,5	9,25	10,6	0,30	0,50

Последние исследования свойств кормов показали, что наряду с известными показателями их биологической ценности следует выделять и биохимические особенности, определяемые наличием свободных функциональных химических групп. Большое количество свободных сульфгидрильных — SH и аминных — NH<sub>2</sub> групп повышает коэффициент использования корма и снижает его затраты на единицу прироста. Другой важной биохимической характеристикой корма являются его активизирующие и ингибирующие свойства по отношению к ферментам пищеварительной системы животных.

Использование азотных удобрений в значительной степени увеличивает ферментингибирующие и уменьшает ферментативные свойства корма, а также снижает количество свободных функциональных групп, вступающих во взаимодействие с нитратами [528].

Ранее нами уже рассматривалась роль минеральных удобрений в повышении скорости вымывания ряда макро- и микроэлементов из пахотного горизонта почвы. Известны примеры, когда почвы при внесении высоких доз NPK из среднеобеспеченных по меди и бору были переведены в разряд бедных, а по кобальту — из бедных в очень бедные [293]. Обеднение корнеобитаемого слоя макро- и микроэлементами отражается на минеральном составе растений, а следовательно, на их кормовых и пищевых свойствах. Например, при шестилетнем использовании удобрений содержание меди в пастбищных растениях уменьшилось на 62%. В опыте, проведенном в БелНИИЗе, при внесении калийных удобрений в дозе 30—60 кг/га ( $K_2O$ ) содержание магния в бобово-злаковом травостое уменьшилось с 0,30 до 0,22% [325]. Имеются данные о падении концентрации в кормах Mg, Co, Zn, Ca [293]. Высказываются предположения о том, что в результате применения удобрений в растениях, выращиваемых в странах Европы, содержится в 6 раз меньше натрия, в 3 раза — меди и, наоборот, в 1,5 раза больше магния, в 2 раза — фосфора и в 4 раза — калия по сравнению с тем, что было 100 лет назад [85].

Изменение минерального состава растений, на фоне увеличения содержания калия, отрицательно влияет на их кормовые достоинства. Потребность животных в калии удовлетворяется в полной мере при его содержании в траве 0,03—0,1% на сухую массу [436]. В результате применения калийных удобрений он может накапливаться в растениях в количествах до 6%  $K_2O$ , в то время как допустимый уровень составляет 2,5%. Избыточное поступление калия ухудшает у сельскохозяйственных животных протеиновый обмен, оплодотворяемость, пищеварение и усиливает выделение мочи [599]. Существенное изменение содержания минеральных веществ в корме ведет к нарушению отношения  $K : (Ca + Mg)$ , которое не должно превышать 2,2. Увеличение этого показателя неблагоприятно для крупного рогатого скота и встречается в 58% образцов пастбищной травы, взятых в хозяйствах Московской области [293].

Изменение минерального состава растений может явиться причиной недостаточного или избыточного поступления в организм человека и сельскохозяйственных животных отдельных элементов и возникновения эндемических заболеваний [384, 550]. В Киевском НИИ кардиологии при изучении распространенности ишемической болезни сердца обнаружили положительную связь между ее встречаемостью и содержанием в продуктах питания магния. Установлено, что недостаточное его поступление является одним из факторов, повышающих встречаемость сердечных заболеваний [160].

Заметные изменения, происходящие в растениях, выращиваемых с применением минеральных удобрений, отражаются на продуктивности сель-

скохозайственных животных. В опытах, проведенных в двух хозяйствах Поспелихинского района Алтайского края, при превышении содержания нитратов в кормах в 1,35—1,54 раза продуктивность коров снижалась на 8,4 и 8,8% [309].

Минеральные удобрения, изменяя химический состав растений, могут отрицательно влиять и на качество животноводческой продукции. Использование кормов с высоким содержанием нитратов ухудшает свойства молока и продуктов его переработки. В опытах по изучению влияния скармливания кормовой свеклы, выращенной на удобренном и неудобренном участках, установлено, что в первом случае в молоке на 17,3% снижался прирост бактериальных клеток, в 1,7 раза возрастало содержание гамма-казеина, не подвергающегося сычужному свертыванию и уходящему в сыворотку. По этой причине расход молока на выработку 1 кг сыра увеличился с 10,7 до 11,0 кг. Сыры, выработанные из такого молока, имели худшую дегустационную оценку [120]. Одна из причин ухудшения биохимических и технологических свойств молока состоит в том, что нитраты, попадая из кормов в молоко, снижают ферментативную активность молочнокислых бактерий [629].

Изучение свойств молока, полученного от коров, выпасаемых на пастбищах с разным уровнем азотного питания (доза удобрений 120, 240 и 360 кг действующего вещества на 1 га), показало, что содержание мочевины в нем при минимальной дозе азотных удобрений составило 14,5, а при максимальной — 21,1 мг %, кобальта — 1,51 и 0,87, цинка — 5,9 и 4,0 мкг. Кроме этого, в молоке коров, выпасавшихся на участках с большими дозами азота в пастбищный период, сильнее проявилось снижение доли незаменимых аминокислот. Содержание витамина В<sub>7</sub> в молоке первого варианта составило 38,52, а в третьем — 28,56 мкг, В<sub>12</sub> соответственно 2,68 и 2,21 мкг [292]. Одной из возможных причин обеднения молока витамином В<sub>12</sub>, возможно, явился недостаток в растениях кобальта, который входит в его состав [176].

К сожалению, в схеме приведенного опыта отсутствовал вариант без применения азотных удобрений. К тому же не следует результаты этих исследований считать окончательными из-за того, что последствия внесения азотных удобрений, а тем более малых доз, могут проявиться только через длительный срок, то есть тогда, когда произойдут соответствующие изменения в агрохимических свойствах почвы,

### **1.7. Влияние минеральных удобрений на сохранность и товарные свойства растений**

Улучшение снабжения населения продуктами питания связано не только с ростом урожайности сельскохозяйственных культур, но и в значительной мере с сохранностью плодов и овощей в зимний период. Общие потери во время хранения достигают 30% [4]. Поэтому изучению влияния минеральных удобрений на лежкость уделяется немало внимания. Результаты



исследований по этому вопросу противоречивы. Наряду с данными о положительном влиянии минеральных удобрений на сохранность растений имеются и противоположные сведения.

Основным фактором, определяющим целостность корнеклубнеплодных растений в зимний период, является содержание в них сухого вещества и углеводов [4]. Повышение оводненности тканей неблагоприятно влияет на сохранность. В наших исследованиях [402], проведенных в УралНИИСХозе совместно с Н.М.Данько, внесение минеральных удобрений способствовало снижению содержания в корнеплодах свеклы и сухого вещества и сахара (табл. 17).

*Таблица 17*

**Влияние доз минеральных удобрений  
на содержание в корнеплодах кормовой свеклы сухого вещества  
и сахара (среднее за 1987—1988 гг.)**

Доза удобрений	Содержание абсолютно сухого вещества, %	Содержится в абсолютно сухом веществе сахара, %
Без удобрений	14,7	57,8
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	14,4	52,2
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	14,5	54,0
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	12,8	52,6

Такие же закономерности выявлены в опытах с другими культурами [396]. Имеются и прямые экспериментальные доказательства ухудшения лежкости клубней, луковиц и корнеплодов, выращенных при использовании минеральных удобрений. Одной из причин этого является повышение интенсивности дыхания плодов и овощей в зимний период и, как следствие, сокращение периода покоя, потеря питательных и вкусовых качеств. Например, после четырех недель хранения лука, выращенного без применения удобрений, доля проросших луковиц составила 15%. Постепенное увеличение дозы азота до 120 кг/га сопровождалось повышением доли проросших луковиц до 40% [636]. Рост общих потерь растениеводческой продукции, выращенной с использованием удобрений и заложенной на хранение, отмечен и в других исследованиях [625]. Применение на посевах овощных культур гербицидов также может ухудшать их сохранность в зимний период. Так, морковь, выращенная с применением минеральных удобрений и обработанная линуроном, удовлетворительно хранилась только до января [590].

Одной из причин снижения сохранности плодов и овощей в зимний период может быть повышение заболеваемости растений, выращиваемых с использованием удобрений [380]. В наших опытах внесение минеральных удобрений во всех вариантах вызывало увеличение числа пораженных слизистым бактериозом корнеплодов турнепса (табл. 18).

Таблица 18

**Поражение растений турнепса слизистым бактериозом,  
% от общего количества растений [396]**

Дозы удобрений	Густота, тыс. растений на 1 га			
	108—118	87—94	74—76	54—57
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	2	5	7	12
N <sub>200</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	5	9	11	15

Очень сильное влияние оказывают минеральные удобрения на потребительские свойства растений. У них снижается сахаристость, крахмалистость, увеличивается оводненность тканей и содержание небелковых форм азота. У клубней картофеля, даже при внесении небольших доз азотных удобрений (N<sub>30-60</sub>), увеличивается потемнение мякоти, а их вкус по сравнению с неудобренным вариантом снижается с 3,6 до 3,4—2,7 балла [496, 107]. Аналогичные данные получены и в других исследованиях. При внесении N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> вкусовые достоинства клубней картофеля снижались с 5 до 3,3 балла по сравнению с вариантом без удобрений. Увеличение доз удобрений в два раза приводило к потемнению мякоти клубней [347]. Высокое содержание в растениях нитратов усложняет их переработку. При консервировании овощей они вызывают коррозию внутренних стенок металлических банок, способствуя тем самым высвобождению свинца. Обеднение растений углеводами замедляет процессы молочнокислого брожения при засолке капусты и силосовании кукурузы [437].

Комплексная оценка влияния минеральных удобрений на потребительские показатели картофеля, проведенная в Польше, приведена в табл. 19. Из данных таблицы следует, что при повышении уровня минерального питания повышается доля нетоварных клубней, а выход качественной продукции снижается.

Таблица 19

**Влияние уровня минерального питания  
на товарные показатели клубней картофеля [513]**

Показатели	Уровень питания		
	1	2	3
Мелкие	7,8	5,8	4,0
Незрелые	3,2	4,9	7,3
Неправильной формы	3,0	4,0	4,6
С множеством механических повреждений	7,9	8,7	12,2
Пораженные мокрой и сухой гнилью	4,3	5,7	7,3
С рубцами обыкновенной парши	2,1	2,1	3,4
Общее количество с пороками	21,1	24,8	29,3
Товарные клубни как продовольственные	78,9	75,8	70,3
Товарные клубни как семенной материал	70,2	64,6	58,7

Ухудшение потребительских свойств при внесении минеральных удобрений наблюдали и в опытах с капустой (табл. 20).

Таблица 20

**Влияние минеральных удобрений на урожайность  
и товарные показатели капусты сорта Амагер 611 [590]**

Вариант	Общий урожай		Товарная часть		Нетоварная часть	
	ц/га	% к контролю	ц/га	% к контролю	ц/га	% к контролю
Без удобрений	802	100	752	100	49	100
N <sub>160</sub> P <sub>120</sub> K <sub>210</sub>	967	121	852	113	116	231
N <sub>320</sub> P <sub>120</sub> K <sub>210</sub>	863	108	711	94	152	307

Как видно из приведенных данных, при внесении минеральных удобрений происходит существенное снижение доли товарного урожая. Он на фоне N<sub>320</sub>P<sub>120</sub> K<sub>120</sub> оказался даже ниже, чем в контрольном варианте.

### **1.8. Трудности, связанные с производством минеральных удобрений и добычей сырья**

Комплексная оценка состояния окружающей среды в связи с применением минеральных удобрений должна проводиться и с учетом воздействия на нее предприятий добывающих и перерабатывающих агрохимическое сырье. Необходимость этого обусловлена очень сильным отрицательным влиянием горных работ на геодинамические процессы и отдельные структурные эле-

менты ландшафта, а производства удобрений — на прилегающие к предприятиям территории.

При извлечении полезных ископаемых из недр земли там образуются пустоты. Это вызывает подвижку горных массивов и оседание земной поверхности. Оно может достигать нескольких метров [497]. Преобразование рельефа является причиной изменения направления и скорости грунтовых и поверхностных стоков, заболачивания территории. Деформация горных пород возможна и в результате накопления на поверхности земли в больших объемах отходов, которые образуются после переработки добытого сырья.

При производстве калийных удобрений из сильвинитовых руд образуются галитовые отходы (3—4 т на 1 т получаемого хлористого калия) и глинисто-солевые шламы. Отходы, складываемые на поверхности земли, разносятся ветром и размываются дождями, вызывая загрязнение сопредельных территорий. Шламохранилища, в которых хранятся жидкие отходы, способствуют заболачиванию и засолению прилегающих земель. О масштабах воздействия на окружающую среду предприятий, производящих калийные удобрения, можно судить на примере Соликамско-Березниковского промышленного узла. Там ежегодно образуется 16 млн. т галитовых отходов. Солеотвалы занимают 300, а шламохранилища — 400 га.

Отходами производства Старобинского месторождения занято 1141 га пахотных земель. Только за 30 лет эксплуатации этого месторождения накопилось 325 млн. т галитовых отходов и 38,5 млн. м<sup>3</sup> глинисто-солевых шламов. При сохранении существующих технологий переработки сырья и объемов производства к 2000 г. под солеотвалами и шламохранилищами в Березниковско-Соликамском районе будет занято 7800 га, а в Старобинском — 2000 га. Общая масса только твердых отходов составит соответственно 770 и 755 млн. т [46,221].

Большую опасность отходы калийного производства представляют для водных объектов. Имея хорошую растворимость, они быстро разносятся поверхностными и внутрипочвенными стоками. Так, в реке Кама содержание хлоридов ниже Березников увеличивается в 3—5 раз [46].

Происходит загрязнение территорий и в результате погрузочно-разгрузочных работ. В портовом городе Вентспилсе содержание калийных солей в воздухе достигает 180—400 мг/м<sup>3</sup> при допустимой норме 6 мг/м<sup>3</sup>. Это явилось причиной гибели 2000 га зеленых насаждений, причинен вред здоровью населения [199]. Определенную экологическую опасность представляют откачиваемые шахтные воды, содержащие карбонаты, сульфаты, хлориды и другие соединения [91, 376].

Не меньшее отрицательное влияние на окружающую среду оказывают и заводы, производящие азотные и фосфорные удобрения. Предприятия, производящие азотные удобрения, загрязняют атмосферу окислами азота и аммиаком. В результате воздействия токсичных выбросов Йонавского "Азота" полностью погибли древесные растения на расстоянии 2—3 км от завода.

Его негативное влияние на лесные массивы распространяется по направлению господствующих ветров на 20— 25 км. В 8-километровой зоне от завода наблюдается подкисление почв, увеличение содержания подвижного алюминия [25].

Заводы, производящие суперфосфат, загрязняют прилегающие территории фтором и другими химическими элементами. Их содержание в почвах и растениях на расстоянии до 5 км в 5—45 раз превышает фоновые. В районе ПО "Фосфорит", разрабатывающего Кингисеппское месторождение, отмечается заметное снижение биологической активности почв. У населения, проживающего в зонах, попадающих под воздействие предприятий, производящих фосфорные удобрения, ухудшается состояние здоровья [39,489].

Долгосрочная ориентация сельскохозяйственного производства на использование минеральных удобрений обострит не только проблемы, связанные с их применением, но и вызывает сомнения ввиду ограниченности запасов фосфорсодержащих и калийных руд. Известные месторождения фосфатов будут полностью выработаны в ближайшие 75— 100 лет [250]. Их общие мировые запасы оцениваются в 84,5 млрд. т, в том числе достоверные — в 27,5 млрд. т. Однако с экономической точки зрения интерес представляют только 14,34 млрд. т [281]. При мировом потреблении к 2000 г. фосфатов в количестве 250 млн. т [549] запасы фосфорного сырья при самых оптимистических прогнозах истощатся через три столетия. Обеспеченность мировой потребности в сырье для производства калийных удобрений значительно выше. Основные запасы калийных солей на планете к концу 80-х гг. оценивались в 39 113 млн. т  $K_2O$  (табл. 21).

*Таблица 21*

**Запасы калийных солей [509]**

Страна	Запасы, млн. т $K_2O$
СССР	22 343
Канада	14 000
ГДР	800
ФРГ	1600
Франция	50
Испания	70
Англия	50
США	200

В будущем добычу апатитов, фосфоритов и калийных солей предстоит вести на большей глубине в ухудшающихся горно-геологических условиях. При увеличении глубины разработок повышается температура, растет горное давление. В связи с выработкой запасов, расположенных в традиционных

районах, добыча сырья перемещается на необжитые территории или на север. В некоторых странах разрабатываются проекты вовлечения в эксплуатацию месторождений фосфорсодержащих руд, расположенных на шельфе [239, 509]. В связи с этим производство минеральных удобрений потребует дополнительных капиталовложений, а следовательно, и повышения цен на готовую продукцию.

Важным фактором, определяющим эффективность работы предприятий, вырабатывающих туки, является состав сырья. Сейчас уже не вызывает сомнений, что его качество будет ухудшаться [449]. Это также отразится на стоимости минеральных удобрений. Так, самые лучшие апатиты в СНГ, содержащие 39,4% пятиоксида фосфора, добываются на Хибинском месторождении. Но в связи с его выработкой доля сырья этого месторождения в общем объеме поставок к 2000 г. снизится с 65,8% (в 1965 г.) до 37,7%. Замена высококачественных фосфатов на низкосортные усложняет их переработку. Поэтому затраты на производство 1 т  $P_2O_5$  к 2000 г. возрастут не менее чем в 1,5 раза [389]. Проблемы такого же характера будут возникать и при производстве азотных удобрений, так как запасы природного газа, используемого в качестве сырья, также ограничены.

Отрицательное влияние производства минеральных удобрений на биосферу будет усиливаться в результате увеличения территорий, занятых туковой промышленностью. По прогнозу ЮНИДО для выполнения планов на 2000 г. по поставке минеральных удобрений мировому сельскому хозяйству необходимо дополнительно построить 564 завода по производству азотных и 323 — по производству фосфорных удобрений [549]. На это планировалось направить 114 млрд. долл. (в ценах 1975 г.). В целом в производство минеральных удобрений вкладываются значительные суммы и средства. Расходы ферм Великобритании на удобрения составляют свыше 10% всех затрат [345]. На производство азотных удобрений в капиталистических странах потребляется 20—25% всей энергии, используемой в сельском хозяйстве [304]. В нашей стране этот показатель достигает 30% [269]. Только на природоохранные мероприятия, необходимость проведения которых обусловлена деятельностью заводов, производящих минеральные удобрения, в XII пятилетке было выделено 626 млн. руб. [264].

Итак, всесторонняя оценка последствий нерегулируемого применения минеральных удобрений в земледелии показывает, что они являются причиной появления многих проблем и земледельческого и экологического характера. Возникают предпосылки для ухудшения физико-химических свойств почв. Растет их кислотность, изменяется в неблагоприятную сторону содержание отдельных химических элементов, активизируется разрушение органического вещества. Особенностью этих процессов является то, что они носят скрытый характер и обнаружить их можно только по истечении определенного периода. По этой причине они более опасны для будущего, чем для настоящего времени.

Внесение минеральных удобрений коренным образом меняет геохимические потоки в агроландшафтах. Это создает условия для возникновения провинций с нетипичными для данной местности геохимическими характеристиками и загрязнения окружающей среды. Поступление соединений азота и фосфора в водные объекты вызывает эвтрофирование, что затрудняет, а иногда и делает невозможным их использование в хозяйственно-питьевых целях.

Не менее важными являются проблемы качества сельскохозяйственной продукции: В ней, особенно при высоких дозах минеральных удобрений, накапливаются нитраты, снижается содержание Сахаров, отдельных витаминов, аминокислот. Ухудшаются товарные и технологические свойства.

Все перечисленные проблемы возникают в относительно короткие сроки при внесении высоких доз минеральных удобрений. При использовании умеренных доз они принимают хроническую форму и не проявляются в течение длительного времени.

## **Глава 2. ВЛИЯНИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

### **2.1. Пестициды в сельскохозяйственном производстве**

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предусматривают широкое применение пестицидов. По обобщенным данным, их использование предотвращает потери урожая от вредителей на 5,1—20,7%, болезней — на 13% и от сорняков — на 6,8—15,7% [299]. В настоящее время число используемых препаратов достигло 60 тыс. Их мировой объем производства в 1975 г. составил 1,6 млн. т, а к концу столетия он возрастет до 2,5—2,7 млн. т действующего вещества [549]. Увеличение производства ядохимикатов с середины XX в. стало выполнимо в результате расширения возможностей направленного органического синтеза. Но поскольку некоторые пестициды были получены из химического оружия второй мировой войны, это, очевидно, явилось дополнительным стимулом наращивания их выпуска [453].

Использование ядохимикатов в бывшем СССР к 1990 г. достигло 750—790 тыс. т в год. Если в 1980 г. в Советском Союзе применялось 12 кг пестицидов на каждую тонну минеральных удобрений, то в перспективе этот показатель предполагалось довести до 30 кг [188]. В 1988 г. в нашей стране химическими средствами защиты растений было обработано 154 млн. га посевов, а в 1990 г. — около 200 млн. га [100, 336]. Позднее, из-за экономического кризиса, объемы их применения стали сокращаться.

Наряду с положительным влиянием пестицидов на производство продуктов растениеводства в последнее время накапливаются данные и об отрицательных последствиях их применения. Углубление наших представлений о поведении ядохимикатов в окружающей среде вскрывает самые неожиданные проявления их действия на живые организмы и экосистемы, что обращает на себя все большее и большее внимание.

### **2.2. Загрязнение пестицидами почв, гидросферы, воздуха и продуктов питания**

Большая часть пестицидов, применяемых при выращивании сельскохозяйственных культур, вносится непосредственно в почву или попадает туда с протравленными семенами, а также в результате смывания с поверхности растений выпадающими осадками. Многие ядохимикаты способны длительное время сохраняться в почве. Поэтому их концентрация в пахотном слое при длительном применении постепенно увеличивается.



Среднее содержание ядохимикатов в пахотных почвах в период их интенсивного применения в североевропейской части России составляло 0,005, а на юге 0,5 мг/кг [347]. Ниже приведены данные о загрязнении почв в республиках бывшего СССР (табл. 22).

Таблица 22

**Загрязнение почв пестицидами, 1989 г. [56]**

Республика	Количество проанализированных проб, тыс.	Доля проб с обнаруженными пестицидами, %	Доля проб с превышением нормативов, %
СССР	42,3	33,4	4,6
Азербайджан	0,7	58,4	29,2
Белоруссия	0,6	37,2	24,8
Грузия	1,1	63,8	24,4
Казахстан	18,4	17,8	1,4
Киргизия	1,3	2,8	4,9
Литва	0,3	1,6	5,6
Молдавия	9,1	30,2	11,7
РСФСР	3,5	25,8	1,4
Таджикистан	0,6	66,6	3,9
Туркмения	0,4	33,6	—
Узбекистан	5,0	65,3	4,7
Украина	2,5	54,5	0,7

Анализы показали, что почвы преимущественно загрязнены хлорорганическими и фосфорорганическими препаратами. Практически повсеместно обнаруживаются остатки ДДТ [299]. После сокращения объемов применения ядохимикатов в сельском хозяйстве произошло и снижение загрязнения почв. Но до сих пор его уровень достаточно высок. В 1996 г., по данным Росгидромета, доля площадей, загрязненных ядохимикатами в России, составила 7,6% от обследованной территории. В 1997 г. этот показатель в Курской, Тамбовской и Омской областях составил, соответственно, 40,1, 51,7 и 39% [394].

Пестициды, попавшие в почву, постепенно распределяются между отдельными ее фазами. Часть из них связывается органическим веществом и закрепляется, таким образом, в виде устойчивых химических соединений. Закрепление пестицидов в почве происходит и в результате их аккумуляции в клетках и тканях живых организмов. Другая часть пестицидов переходит в почвенный раствор и поэтому очень быстро распространяется по всему пахотному слою. Ядохимикаты, находящиеся в почве, постоянно переходят из одного состояния в другое. Интенсивность и направленность этого процесса зависит от ряда факторов — влажности, температуры, газового режима, вы-

ращиваемых культур.

Появление средств химической защиты растений в почвах неизбежно ведет к включению их в биогеохимические потоки. Миграция ядохимикатов и продуктов их физико-химической и биологической трансформации совершается в основном с поверхностными и внутрипочвенными потоками воды, в меньшей степени — за счет аэрозольного переноса. В некоторых случаях они переносятся живыми организмами, ведущими подвижный образ жизни

Миграция пестицидов с водными потоками особенно интенсивно происходит на почвах легкого гранулометрического состава с промывным режимом. При анализе образцов воды, взятых на песчаных почвах с глубины 40—50 см, однократно обработанных атразином (1—1,5 кг/га), он обнаруживался во всех пробах в количестве 0,14 мкг/л, а после четырех обработок — 0,57 мкг/л. Максимальный уровень атразина составил 17,5 мкг/л [633]. Данные, полученные в результате наблюдений за поведением ядохимикатов в почве на территории ряда областей РФ, свидетельствуют, что они перемещаются на глубину до 2 м. Такой препарат, как метафос, обнаруживался на глубине 90—100 см в количестве 14,8% от его общего содержания в метровом слое [394].

По сведениям зарубежных авторов, загрязнение дренажных вод дихлорпропом и 2М-4Х отмечалось в течение недели после их применения на песчаной и двух недель на глинистой почвах [641]. В 1985—1987 гг. ими же проведен анализ 259 образцов воды из рек. В них было обнаружено 11 гербицидов, 2 фунгицида и 5 инсектицидов. Чаще всего встречались дихлорпроп и 2М-4Х, максимальное содержание которых отмечено в июне. Суммарная концентрация феноксикислот достигала 25 мкг/л.

Находящиеся в почве пестициды с нисходящими водными потоками могут выноситься в глубоко залегающие грунтовые воды. При обследовании колодцев, расположенных на территории сельскохозяйственных ферм США, в воде 69% источников выявлено наличие инсектицидов и фунгицидов [648]. В некоторых штатах до 30% артезианских скважин, предназначенных для питьевого водоснабжения, были закрыты ввиду загрязнения ядохимикатами [605]. Их появление после обработки посевов хлопка наблюдали даже на глубине 80 м [550]. Сильное загрязнение грунтовых вод средствами защиты растений наблюдается и в Германии. Там в ряде случаев их концентрация превышает установленные ПДК в 20 раз [499]. Предполагают, что из общего количества применяемых пестицидов в водоемы попадает около 5% [626].

Химические средства защиты растений обнаруживаются и в атмосфере. Очень сильно загрязняется воздух при мелкокапельном и аэрозольном распылении препаратов. Мелкие частицы используемого раствора медленно оседают на растения и поверхность почвы, что увеличивает время нахождения их в воздухе и способствует переносу на другие участки [562].

Загрязнение воздуха пестицидами возможно и в результате поступления их из почвы. После заделки гранулированного фурада на он и его метаболиты обнаруживались в воздухе в течение двух недель в количестве от 0,02

до 0,15 мг/м<sup>3</sup> [414]. Такого рода миграция свойственна карбофосу, метафосу, прометрину, далапону, банвелу Д и полихлорпинену [381]. В воздух после применения ядохимикатов могут поступать такие токсичные газы, как фосген, цианистый водород, хлористый водород. Они образуются в результате деградации ядохимикатов, находящихся в почве или на ее поверхности [154].

Часть пестицидов, содержащихся в воздухе, поглощается атмосферными осадками и с ними попадает в почву и водоемы. В дождевой воде, собранной в районе Баден-Вюртемберга, обнаружены атразин, дихлорпроп, симазин, линдан и другие ядохимикаты [648, 500].

Аккумуляция пестицидов в почве сопровождается их переходом в растения. Причем уровень загрязнения сельскохозяйственных культур может быть значительно выше, чем почв, на которых они выращиваются. Например, при содержании в почве фосфамида в количестве 1,0 мг/кг его концентрация в растениях составила 1,4—6,3 мг/кг. Это значительно выше установленных ПДК (1,0 мг/кг) [522].

Недостаточное внимание гигиеническому аспекту применения пестицидов уделяется при использовании быстроразлагающихся препаратов. Принято считать, что вероятность загрязнения ими растений очень мала. Однако результаты экспериментов показывают, что быстрота разрушения зависит не столько от химической природы пестицидов, сколько от тех условий, в которых они разлагаются [335]. Так, 95% метафоса обычно разрушается за 7 суток, но в кислых почвах он может сохраняться в течение 5—6 месяцев [381].

В некоторых случаях нестойкие пестициды, попадая в почву, подвергаются трансформации и превращаются в достаточно устойчивые соединения. При выращивании риса для борьбы с сорняками широко используется пропанид. Обычно он полностью разрушается за 1—2 месяца. Но его метаболит является очень стойким соединением, которое способно сохраняться в почве в течение нескольких лет [95]. Поэтому применение быстроразлагающихся ядохимикатов не может гарантировать их отсутствие в почве и растениях. Ядохимикаты, находящиеся в почве, постоянно переходят из одного состояния в другое. Интенсивность и направленность этого процесса зависит от ряда факторов — влажности, температуры, газового режима, выращиваемых культур.

Появление средств химической защиты растений в почвах неизбежно ведет к включению их в биогеохимические потоки. Миграция ядохимикатов и продуктов их физико-химической и биологической трансформации совершается в основном с поверхностными и внутрипочвенными потоками воды, в меньшей степени — за счет аэрозольного переноса. В некоторых случаях они переносятся живыми организмами, ведущими подвижный образ жизни

Миграция пестицидов с водными потоками особенно интенсивно происходит на почвах легкого гранулометрического состава с промывным режимом. При анализе образцов воды, взятых на песчаных почвах с глубины 40—50 см, однократно обработанных атразином (1—1,5 кг/га), он обнаруживался

во всех пробах в количестве 0,14 мкг/л, а после четырех обработок — 0,57 мкг/л. Максимальный уровень атразина составил 17,5 мкг/л [633]. Данные, полученные в результате наблюдений за поведением ядохимикатов в почве на территории ряда областей РФ, свидетельствуют, что они перемещаются на глубину до 2 м. Такой препарат, как метафос, обнаруживался на глубине 90—100 см в количестве 14,8% от его общего содержания в метровом слое [394].

По сведениям зарубежных авторов, загрязнение дренажных вод дихлорпропом и 2М-4Х отмечалось в течение недели после их применения на песчаной и двух недель на глинистой почвах [641]. В 1985—1987 гг. ими же проведен анализ 259 образцов воды из рек. В них было обнаружено 11 гербицидов, 2 фунгицида и 5 инсектицидов. Чаще всего встречались дихлорпроп и 2М-4Х, максимальное содержание которых отмечено в июне. Суммарная концентрация феноксикислот достигала 25 мкг/л.

Находящиеся в почве пестициды с нисходящими водными потоками могут выноситься в глубоко залегающие грунтовые воды. При обследовании колодцев, расположенных на территории сельскохозяйственных ферм США, в воде 69% источников выявлено наличие инсектицидов и фунгицидов [648]. В некоторых штатах до 30% артезианских скважин, предназначенных для питьевого водоснабжения, были закрыты ввиду загрязнения ядохимикатами [605]. Их появление после обработки посевов хлопка наблюдали даже на глубине 80 м [550]. Сильное загрязнение грунтовых вод средствами защиты растений наблюдается и в Германии. Там в ряде случаев их концентрация превышает установленные ПДК в 20 раз [499]. Предполагают, что из общего количества применяемых пестицидов в водоемы попадает около 5% [626].

И при однократном применении ядохимикатов могут иметь место случаи превышения установленных нормативов. Например, в злаковых культурах, обработанных 2,4-Д, его остатки могут содержаться практически всегда, в то время как их присутствие по нормативам, принятым в нашей стране, не допускается [572].

Ядохимикаты, попадающие в растения, способны сохраняться и после их переработки. После однократной обработки винограда ридомил-лом в дозе 0,25 кг/га его содержание в ягодах составило 100 мкг/кг сырой массы, а в полученном из них вине — 40 мкг/л. При этом исследователи отмечают, что анализы проводились в срок, превышающий рекомендованный период ожидания на 70 суток [15].

Массовыми исследованиями пищевых продуктов, проведенными за рубежом, установлено наличие остатков пестицидов в 20% проанализированных овощей и в 15% фруктов. В 10% проб предельно допустимый уровень был превышен [299]. Третья часть продукции в начале 90-х гг. была загрязнена пестицидами и в нашей стране. Причем в 10% случаев содержание ядохимикатов превышало допустимые нормы [387]. В России и Узбекистане половина проверенных кормов содержала ГХЦГ выше ПДК. Этот ядохимикат устойчив к разложению и поэтому еще долго будет обнаруживаться в

продукции сельского хозяйства. В кормах, проанализированных в Казахстане и Узбекистане, он определяется в среднем на уровне 6—7 ПДК. В Казахстане ранее отмечалось большое загрязнение кормовых растений метафосом. В 1997 г. в аграрный сектор России было поставлено 33,9 тыс.т пестицидов, что в 2,8 раза меньше, чем в 1990 г. Это явилось причиной существенного снижения загрязнения продуктов питания. Сверхдопустимые остатки пестицидов обнаруживались в 0,4 % образцов [394].

Пестициды, попадающие в организм сельскохозяйственных животных, впоследствии переходят в мясо, молоко и яйца. В желтке яиц кур, получавших корм с содержанием кельтана 5 мг/кг, он обнаруживался в количестве 1,04—3,33 мг/кг [135].

Только загрязнением кормов пестицидами можно объяснить то, что в Казахстане в молочных продуктах хлорорганические препараты в зимне-весенние месяцы содержатся в 50—75%, а в летне-осенние — в 80—100% проб. По этой же причине ядохимикаты в опасных количествах обнаруживались в пятой части колбасных изделий, производимых в бывшем СССР. В 1987 г. пестициды обнаружены в 42% продукции детских молочных кухонь, а также в грудном молоке кормящих матерей [467,591,607].

Угрожающая ситуация в связи с интенсивным применением ядохимикатов складывается в Узбекистане. На территории этого государства Главной причиной появления в листьях, стеблях и плодах пестицидов является обработка вегетирующих растений, но, вместе с тем, не исключена возможность и аэрозольного их загрязнения. Интенсивность разложения препаратов, попавших в растения, зависит от многих факторов. Отдельные элементы интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, с этой точки зрения, могут оказывать неблагоприятное воздействие. В вариантах с применением хлорхолин-хлорида срок разрушения остатков пестицида в растениях увеличивался по сравнению с контролем в 1,3—1,6 раза. Азотная подкормка оказывала аналогичное действие [299]. В табл. 23 приведены результаты изучения влияния микроэлементов, содержащихся в удобрении, на скорость разрушения ядохимикатов.

Таблица 23

**Влияние бора и молибдена на динамику разрушения инсектицидов в растениях пшеницы [392]**

Вариант	Содержание инсектицидов, % к исходному содержанию, сут		
	3	8	16

Метафос	43	15	0
То же + В	47	29	14
То же + Мо	43	20	7
Фосфамид	41	21	1
То же + В	53	31	8
То же + Мо	44	20	9

Удлиняется срок детоксикации ядохимикатов и при их совместном использовании. Каратэ в отсутствии других пестицидов полностью инактивируется через 14—21 суток, в присутствии трефлана — за 28—32, прометрина - за 32—53, трефлана + прометрина - за 35—45 суток [257].

В опытах, проведенных в ВИЗР, интенсивные технологии выращивания пшеницы удлиняли срок обнаружения байлетона и тилта, соответственно, на 16 и 10 дней, а валотона и метафоса — на 5 и 7 дней [447].

Одним из факторов, определяющих скорость детоксикации остатков пестицидов в растениях, являются климатические условия. Так, ГХЦГ в больших количествах обнаруживается в капусте во влажные годы [61]. А эупарен, наоборот, долго не разрушается в засушливых условиях. После четырехкратной обработки он обнаруживается в зрелых ягодах винограда даже через 37 дней в количестве 10 мг/кг (фунгицид + его метаболит), это почти в 7 раз превышает установленный предельно допустимый уровень [116]. Так как поведение пестицидов в системе почва — растение подвержено большому числу трудноучитываемых факторов, то и при однократном применении ядохимикатов могут иметь место случаи превышения установленных нормативов. Например, в злаковых культурах, обработанных 2,4-Д, его остатки могут содержаться практически всегда, в то время как их присутствие по нормативам, принятым в нашей стране, не допускается [572].

Ядохимикаты, попадающие в растения, способны сохраняться и после их переработки. После однократной обработки винограда ридомил-лом в дозе 0,25 кг/га его содержание в ягодах составило 100 мкг/кг сырой массы, а в полученном из них вине — 40 мкг/л. При этом исследователи отмечают, что анализы проводились в срок, превышающий рекомендованный период ожидания на 70 суток [15].

Массовыми исследованиями пищевых продуктов, проведенными за рубежом, установлено наличие остатков пестицидов в 20% проанализированных овощей и в 15% фруктов. В 10% проб предельно допустимый уровень был превышен [299]. Третья часть продукции в начале 90-х гг. была загрязнена пестицидами и в нашей стране. Причем в 10% случаев содержание ядохимикатов превышало допустимые нормы [387]. В России и Узбекистане половина проверенных кормов содержала ГХЦГ выше ПДК. Этот ядохимикат устойчив к разложению и поэтому еще долго будет обнаруживаться в продукции сельского хозяйства. В кормах, проанализированных в Казахстане и Узбекистане, он определяется в среднем на уровне 6—7 ПДК. В Казахстане ранее отмечалось большое загрязнение кормовых растений метафосом. В

1997 г. в аграрный сектор России было поставлено 33,9 тыс. т пестицидов, что в 2,8 раза меньше, чем в 1990 г. Это явилось причиной существенного снижения загрязнения продуктов питания. Сверхдопустимые остатки пестицидов обнаруживались в 0,4 % образцов [394].

Пестициды, попадающие в организм сельскохозяйственных животных, впоследствии переходят в мясо, молоко и яйца. В желтке яиц кур, получавших корм с содержанием кельтана 5 мг/кг, он обнаруживался в количестве 1,04—3,33 мг/кг [135].

Только загрязнением кормов пестицидами можно объяснить то, что в Казахстане в молочных продуктах хлорорганические препараты в зимне-весенние месяцы содержатся в 50—75%, а в летне-осенние — в 80—100% проб. По этой же причине ядохимикаты в опасных количествах обнаруживались в пятой части колбасных изделий, производимых в бывшем СССР. В 1987 г. пестициды обнаружены в 42% продукции детских молочных кухонь, а также в грудном молоке кормящих матерей [467,591,607].

Угрожающая ситуация в связи с интенсивным применением ядохимикатов складывается в Узбекистане. На территории этого государства очень сильно загрязнены большая часть водохранилищ и практически все сельскохозяйственные угодья. В результате содержание ГХЦГ в молоке, по сообщениям государственных органов здравоохранения, в отдельных случаях достигает 40 и даже 44 ПДК [467].

### **2.3. Возможные последствия применения пестицидов для человека и сельскохозяйственных животных**

Появление пестицидов в биосфере планеты представляет существенную опасность для живых организмов. В результате применения ядохимикатов в мире ежегодно отмечается 500 тыс. случаев острых отравлений [164]. Еще больший вред здоровью людей они причиняют без внешне заметных проявлений. При острой и хронической токсичности ядохимикаты по отношению к живым организмам обладают тератогенными, эмбриотоксическими, мутагенными и нейротоксическими свойствами. Даже под воздействием современных быстроразлагающихся фосфорорганических препаратов, признанных перспективными с точки зрения специалистов по защите растений, у людей развиваются депрессия, раздражительность, нарушаются память и способность к абстрактному мышлению, 90% пестицидов обладают канцерогенным действием [607, 10].

По данным американских специалистов, у фермеров, использующих 2,4-Д более 20 дней в году, вероятность возникновения опухолей увеличивается в 6 раз [656]. Контакт с пестицидами во время их применения ведет к возникновению профессиональных дерматозов у сельскохозяйственных рабочих [644]. Исследования, проведенные в нашей стране, свидетельствуют о нарушениях иммунных свойств организма у людей, имеющих отношение к

пестицидам. Уровень дисфункции иммунитета находится в прямой зависимости от стажа работы [255]. Предполагается, что наблюдаемое увеличение количества случаев неблагоприятных родов и рождение детей с наследственными дефектами является следствием появления в окружающей среде различного рода ядохимикатов [490].

Большое внимание в последние годы уделяется изучению состояния здоровья людей, проживающих в местах интенсивного применения пестицидов. Учеными из Молдовы на основе данных обследования населения сделан вывод, что общая заболеваемость людей в районах с интенсивным использованием ядохимикатов в 2,0—4,3 раза выше, чем в зонах с минимальной химизацией. Заболеваемость детей по некоторым болезням органов дыхания больше в 2,3—5,3 раза. С ростом химизации у детей чаще отмечаются заболевания системы пищеварения (энтериты, колиты, острые гастриты), болезни кожи и подкожной клетчатки, хронические заболевания уха. Установлена четкая прямая корреляционная связь между распространением врожденных аномалий, детской смертностью и уровнем применения ядохимикатов [166, 333]. Получены данные об увеличении в два раза частоты хромосомных мутаций у практически здоровых подростков 15—17 лет, проживающих в районах с высокой пестицидной нагрузкой [10].

По свидетельству работников здравоохранения, после начала интенсивного использования ядохимикатов при выращивании риса в Красноармейском районе Краснодарского края заболеваемость раком за пять лет увеличилась на 50%, психическими расстройствами — на 25% [434]. В этом же регионе проведено изучение терапевтической заболеваемости на территориях с высокими и низкими показателями использования пестицидов. В районе с максимальным уровнем химизации патология органов кровообращения, пищеварения и мочевого выведения наблюдалась в 3—12 раз чаще, чем в контрольном. У пациентов в возрасте 30—39 лет обращаемость по поводу эндокринных заболеваний оказалась выше в 10 раз [419].

Массовое применение пестицидов явилось причиной возникновения ряда самостоятельных направлений в науке. К ним можно отнести экологическую токсикологию. В ее задачу входит изучение влияния различных токсиантов на здоровье человека и животных [368, 201]. Исследованиями в этом направлении было установлено, что многие продукты питания и корма, содержащие микроколичества разнообразных ксенобиотиков, обладают скрытой токсичностью. Она формируется в результате синергизма загрязняющих веществ.

Специфичность действия пестицидов, попадающих с кормом в организм крупного рогатого скота, обусловлена особенностями питания, строения и функционирования органов пищеварения. Поскольку дойные коровы для обеспечения своей молочной продуктивности, по сравнению с другими теплокровными животными и человеком, поглощают значительные количества корма на единицу массы тела, то они подвержены воздействию ксено-



биотиков в еще большей степени.

В результате исследований по изучению влияния пестицидов на организм сельскохозяйственных животных, наряду с другими отрицательными проявлениями, установлена различная восприимчивость внутренних органов к ксенобиотикам. Оказалось, что порог чувствительности для половой функции примерно в 8 раз ниже, чем общая чувствительность организма [481]. Этот пример является убедительным подтверждением, насколько непредсказуемо влияние пестицидов на живые организмы.

Сторонники применения пестицидов считают, что избежать их отрицательного влияния на организм человека и сельскохозяйственных животных можно путем совершенствования ПДК вредных веществ в продуктах питания и кормах. Однако многие специалисты относят пестициды к соединениям, опасным в любых концентрациях. Высказанное ранее предположение подтверждается рядом экспериментов. При поступлении в организм человека ядохимикатов в количествах, не превышающих гигиенические нормативы, нарушаются иммунные свойства. Это снижает его сопротивляемость к разного рода инфекционным заболеваниям и заметно осложняет течение патологических процессов [295, 573].

На рекомендованные ПДК нельзя опираться по той причине, что они в первую очередь отражают не их безопасность, а степень нашей информированности о возможных отрицательных воздействиях ксенобиотиков в той или иной концентрации [533]. Подтверждением этой мысли служат данные об изменении ПДК вредных веществ в воздухе (табл. 24).

Таблица 24

**Динамика установленных предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе [533]**

Год	ПДК для производственных условий, мг/м <sup>3</sup>	
	Бензол	Анилин
1930	200	100
1954	50	5
1963	20	3
1972	5	0,1

Приведенная информация касается промышленных предприятий, но, по нашему мнению, достаточно хорошо отражает сущность процессов, происходящих и в сельскохозяйственной токсикологии.

На первом этапе изучения отрицательного действия пестицидов на живые организмы внимание уделялось только их острой, а затем хронической токсичности. Позднее стало ясно, что возможны и отдаленные последствия, которые проявляются только через 2—3 поколения. Причем выявление

все новых и новых сведений об отрицательном влиянии пестицидов на живые организмы происходит при изучении токсичности новых, по словам специалистов, не представляющих опасности ядохимикатов.

Регламентация загрязнения продуктов питания и кормов на основе ПДК осложняется возможностями обнаружения ксенобиотиков. Некоторые ядохимикаты или их метаболиты образуют в растениях "связанные" или "неэкстрагируемые" соединения. Их обнаружение традиционными химико-аналитическими методами затруднено. Вместе с тем, такие соединения обладают большей токсичностью, чем исходные [514].

Если даже предположить, что можно установить безопасный уровень для отдельных пестицидов, возникает вопрос, в какой мере его можно использовать в случае загрязнения продовольствия и кормов целым комплексом ксенобиотиков, токсичность которых при совместном действии усиливается?

Опасность ядохимикатов может возрастать и в результате изменения параметров окружающей среды. Экспериментальным путем была установлена возможность усиления токсичности хлорофоса и ГХЦГ при содержании подопытных животных в условиях повышенных температур (34—38°C) [613].

Важную роль в детоксикации ксенобиотиков в живых организмах выполняют ферменты. Но поскольку их активность во многом определяется наследственными особенностями, то это обуславливает индивидуальную восприимчивость к пестицидам. Установлено, что среди здоровых людей имеются лица, которых можно отнести в группу повышенного риска, то есть им свойственна повышенная чувствительность к ксенобиотикам [446].

Следовательно, только по изложенным соображениям общепринятые ПДК для пестицидов не являются безопасными для сталеваров, кузнецов и прокатчиков, которые в процессе своей трудовой деятельности подвергаются воздействию высоких температур, и для лиц с повышенной чувствительностью к ксенобиотикам.

## **2.4. Влияние пестицидов на свойства растений**

Пестициды, попавшие в растения, способны вовлекаться в биохимические превращения, происходящие в их тканях, и тем самым влиять на качество растениеводческой продукции. О возможной существенной перестройке биохимических комплексов растений, подвергавшихся обработке гербицидами, можно судить по тому, как изменяется их аминокислотный состав. Например, при использовании на посевах овса диа-лена и 2,4-Д в зерне этой культуры наблюдалось снижение содержания лизина, гистидина, лейцина, валина и, наоборот, увеличение треонина и метионина [155]. При многократном применении гербицидов из группы триазинов одновременно с ухудшением биологической полноценности зерна кукурузы происходит снижение

его белковости [515]. Под влиянием широко используемого гербицида аминной соли 2,4-Д у пшеницы белковость возрастала, но наблюдалось уменьшение содержания незаменимых аминокислот. Степень проявления отмеченных закономерностей во многом зависит от погодных условий [299].

Очень чутко, по сравнению с другими культурами, на использование пестицидов реагирует картофель. Даже при отсутствии обнаруживаемых количеств гербицида банвел Д наблюдалось достоверное снижение содержания в клубнях крахмала. Аналогичное действие на картофель оказывал хлорамп [381]. В опытах других исследователей крахмалистость клубней повышалась, но уменьшалась их белковость. Так, при обработке посевов картофеля арезином содержание белка снизилось с 2,91 до 1,42%, а при использовании зенкора и его смесей с линуроном и прометрином — с 2,91 до 1,12—2,43% [85].

Изменение биохимического состава растений происходит вследствие трансформации пестицидов при включении их в метаболизм, в результате чего образуются соединения, нарушающие нормальное течение обменных процессов. Очевидно, пестициды, попадающие в ткани растений, прежде всего взаимодействуют с ферментами и витаминами, обладающими высокой биохимической активностью. Это может происходить двумя путями. Первый заключается в участии ферментов и витаминов в детоксикации ксенобиотиков, а второй — в их инактивации пестицидами посредством простого химического взаимодействия. Поэтому влияние пестицидов на растения должно очень хорошо проявляться через изменение их ферментного и витаминного состава. В то же время, как показало изучение литературы, специалисты не ставили этот вопрос на изучение, что вызывает удивление, поскольку именно этот эффект характерен для некоторых гербицидов по отношению к сорным растениям.

Недостаток информации о воздействии остатков пестицидов на ферментные системы культурных растений в какой-то мере компенсируется сведениями об изменении витаминного статуса. В ряде исследований получены достаточно убедительные данные об отрицательном влиянии гербицидов на содержание витаминов в сельскохозяйственных растениях (табл. 25).

Таблица 25

**Содержание тиамина в зерне озимой ржи и пшеницы, выращенных с применением 2,4-Д, диалена и феногона, мг/100 г [85]**

Исследованные образцы	2,4-Д			Диален 1978	Феноген 1982
	1972	1973	1974		
Рожь (контроль)	0,34	0,30	0,37	0,29	-
Рожь (опыт)	0,28*	0,28	0,32*	0,20*	-
Пшеница (контроль)	0,46	0,37	0,46	0,30	0,48
Пшеница (опыт)	0,37*	0,31*	0,42*	0,30	0,42*

\* Статистически достоверные изменения.

В опытах этих же авторов при использовании гербицидов наблюдалось снижение накопления каротина в моркови. В подтверждение результатов своих исследований они приводят данные экспериментов других специалистов, которые отмечали уменьшение содержания аскорбиновой кислоты в луке и черной смородине.

Употребление растений с низким содержанием витаминов особенно сильно отражается на здоровье тех людей и сельскохозяйственных животных, в организм которых с пищей, водой и воздухом поступает большое количество загрязнителей окружающей среды. Это объясняется тем, что полная детоксикация ксенобиотиков происходит только при нормальной и даже несколько повышенной обеспеченности витаминами.

Экспериментальными данными доказана возможность ухудшения органолептических показателей растений, выращенных с применением пестицидов, что, по свидетельству авторов, явилось причиной снижения поедаемости зерна у подопытных животных [156]. Интересные данные, позволяющие оценить качество растений, выращенных с применением пестицидов, получены в Белорусском НИИ санитарной гигиены. Оказалось, что при содержании остатков пестицидов в зерновых культурах, картофеле и овощах в количествах, не обнаруживаемых общепринятыми анализами, происходит существенное ухудшение их биологической ценности, заключающееся в снижении эффективности использования корма и возникновении нарушений в организме подопытных животных. Особенно заметно пищевая ценность растений, обработанных пестицидами, изменяется после длительного хранения. Например, у картофеля через 5 месяцев после уборки она снизилась по сравнению с контролем на 45%, в то время как в осенний период различия были несущественны [85].

Использование пестицидов может быть причиной появления в растениях нитратов и нитрозоаминов. В опытах с капустой после применения пестицидов содержание нитратов в кочанах увеличилось в 1,4—1,6 раза. Внесение дуала, семерона и трефлана отразилось и на сохранности растений в послеуборочный период. Потери при хранении капусты, выращенной на гербицидном фоне, по сравнению с контролем были выше в 1,6—1,8 раза [205].

В результате наблюдения за культурными растениями, обработанными пестицидами, установлена возможность изменения их морфологических признаков. У зерновых культур это проявляется в уродливости колоса, колосковых чешуи, образовании стерильной пыльцы, у плодовых — в увеличении доли нестандартных ягод [111, 565, 3]. Отрицательные последствия применения пестицидов обнаруживаются не только в год их использования, но и в последующих поколениях [2]. Подобные факты первое время вызывали сомнения и объяснялись допущенными методическими ошибками, искажающими результаты исследований. Однако проведение опытов по принципи-

ально новой схеме, исключаящей действие неучитываемых факторов, не опровергло, а наоборот, подтвердило первоначальные результаты (табл. 26) [196, 197].

Таблица 26

**Изменение урожайности пшеницы Саратовской 29  
под воздействием гербицидов [198]**

Год	Урожайность в контроле, ц/га	Прибавки, % к контролю, от обработок			
		2,4-Д		тордон	
		однолетних	многолетних	однолетних	многолетних
1973	22,9	-5,2	-12,7	+ 7,7	-5,7
1974	11,8	+ 4,2	+ 4,2	-3,4	-14,4
1975	9,5	-6,3	-2,1	+ 3,2	-7,4
1976	25,1	-3,2	-6,4	-6,0	-17,5
1977	20,2	+ 5,3	-1,0	+ 3,5	-10,4
Средняя	17,9	+ 2,2	-4,5	+ 1,1	-11,2

Данные, приведенные в табл. 26, свидетельствуют, что если однократное применение гербицидов повышало урожайность пшеницы, то последовательная многократная обработка пяти поколений, наоборот, снижала. Это явление авторы наблюдали и в вегетационных опытах. Такая реакция растений на применение ядохимикатов объясняется постепенным накоплением нарушений, возникающих в генотипе. При цитологических исследованиях клеток корневой меристемы ячменя, обработанного пестицидами в дозах, близких к рекомендуемым в производстве, выявлено увеличение частоты хромосомных аномалий [555]. Высказываются соображения, что использование пестицидов в сельском хозяйстве может стать причиной быстрой утраты сортовых свойств растений.

Ядохимикаты, содержащиеся в ничтожных количествах в семенах, отрицательно влияют на их посевные качества. При обработке пшеницы хлорсульфурином в дозе 15 г/га его содержание в зерне составило только 3,6 мкг/кг. Но даже такое незначительное количество гербицида снизило всхожесть семян пшеницы с 92 до 82% [379]. Ухудшились посевные свойства семян после применения хлорсульфуриона и у льна (табл. 27). В связи с таким воздействием этого гербицида на сельскохозяйственные культуры делается вывод о необходимости отказа от его использования на семенных посевах.

Таблица 27

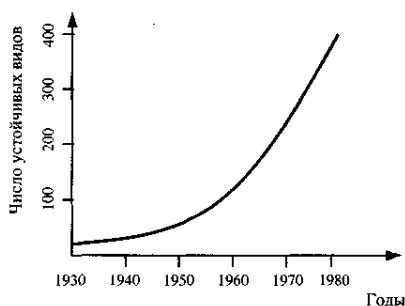
**Посевные качества семян льна, сформировавшихся на растениях,  
обработанных хлорсульфурином [552]**

Вариант	Прорастание семян, %	Длина первичного корешка, мм	Масса проростков через 7 суток прорастивания, г/	Высота растений через 20 суток после посева, г/
Без обработки	99	55	5,2	17,3
Обработка дозой 15 г/га	87	31	4,5	14,8
Обработка дозой 75 г/га	79	27	3,5	13,8

Большая часть гербицидов после обработки ими посевов концентрируется в надземной части. При ее использовании в качестве удобрения они поступают в почву и могут оказывать неблагоприятное воздействие на последующие культуры. Так, хлорсульфурон, применяющийся при выращивании зерновых после заделки в почву соломы, представляет опасность для таких последующих культур, как свекла, горчица, подсолнечник, горох [379]. Следовательно, применение ядохимикатов имеет самые неожиданные последствия. Далее рассматривается экологический аспект их использования.

## 2.5. Экологические последствия применения пестицидов

Предсказываемые неограниченные возможности химических способов борьбы с сорняками, вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур после начала широкомасштабного использования не подтвердились в связи с возникновением проблемы резистентности [195, 196, 307, 511, 45, 244]. В 1938 г. было известно всего 7 видов вредителей, устойчивых к пестицидам, к 1984 г. их количество возросло до 447 (рис. 2).



**Рис. 2. Увеличение числа устойчивых к инсектицидам форм насекомых [606]**

Это явление при первом знакомстве вызвало озадаченность, но при более детальном анализе действия пестицидов на живые организмы появление относительно невосприимчивых к ядохимикатам сорняков, вредителей и фитопатогенов объясняется достаточно просто. Как известно, эволюционное развитие любых живых организмов невозможно без генотипической изменчивости. Благодаря этому в популяциях всегда имеются отдельные особи, более устойчивые, чем другие, по отношению к определенным пестицидам. Доля резистентных организмов в составе популяции составляет примерно  $10^{-9}$  [23]. Они не выделяются среди основной массы по другим признакам и внешне незаметны. Но при применении пестицидов, особенно в благоприятных условиях, получают преимущественное развитие. Так возникает новая, устойчивая к ядохимикатам популяция.

Случаи возникновения резистентных популяций у сорняков сравнительно редки, но и среди них уже имеется более 40 видов с приобретенной устойчивостью к 14 гербицидам. Количество невосприимчивых к пестицидам сорных растений и вредителей продолжает увеличиваться [259, 494].

Для предотвращения возникновения резистентности пытались создавать пестициды, имеющие высокую избирательность, но оказалось, что это не решает проблемы. Более того, при использовании таких препаратов невосприимчивость у вредителей и сорняков может формироваться даже быстрее, чем обычно. Другим способом замедления появления резистентных популяций является чередование препаратов [510, 374, 194]. Но и этот способ не лишен недостатков, так как для его реализации необходим большой набор разнообразных препаратов, создание которых требует колоссальных затрат (табл. 28). Их размер постоянно увеличивается. В 1987 г. расходы на создание нового пестицида в США достигли 50 млн. долл.

*Таблица 28*

#### **Развитие работ по созданию пестицидов**

### в главнейших химических фирмах США [417]

Показатели	1956	1964	1967	1970	1977
Количество испытанных веществ на один препарат, принятый к производству	1800	3600	5481	7450	12 000
Затраты на создание одного препарата, млн. долл.	1,2	2,9	3,4	5,5	6,12
Время исследования от синтеза препарата до внедрения в производство, годы	—	5,0	5,5	6,5	8,0
Затраты рабочего времени научного персонала на создание пестицидов в 33 фирмах США, человеко-лет	—	1000	2368	2768	—

Западногерманской фирмой "Байер" для создания и выпуска на международный рынок одного препарата в 1950—1954 гг. требовалось 4— 5 лет при сумме затрат 3 млн. марок. В настоящее время срок возрос до 8—10 лет, а стоимость — до 150—190 млн. марок. Обычно из 10 тыс. полученных соединений только одно выдерживает предъявляемые к ним требования [429].

Казалось бы, интенсивное применение ядохимикатов должно полностью исключить потери сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков. Однако они не только не сократились, а даже увеличились (табл. 29).

Таблица 29

### Динамика изменения потерь урожая в США [605]

Период	Потери урожая, %			
	от вредителей	от заболеваний	от сорняков	общие потери
1904	9,8	нет данных	нет данных	нет данных
1910—1935	10,5	нет данных	нет данных	нет данных
1942—1951	7,1	10,6	13,8	31,4
1951—1960	12,9	12,2	8,5	33,6
1974	13,1	12,0	8,0	33,0
1980	13,0	12,6	12,0	37,0

Одной из причин сохранения потерь сельскохозяйственной продукции является то, что, уничтожая в агрофитоценозах вредных насекомых, фитопатогенную микрофлору и сорняки, мы создаем условия для размножения других видов организмов, которые ранее не причиняли заметного вреда. Но при освобождении экологической ниши их численность существенно возрастает. Так, многократная обработка садов инсектицидами против яблонной плодовой жоржки ведет к массовому размножению плодовых клещей и листоверток [76]. Внедрение интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, предполагающих применение пестицидов, вызывает появление "ма-



лых болезней". Поражение растений этими болезнями до недавнего времени отмечалось редко и существенно не отражалось на урожайности. Однако в настоящий период их вредоносность и встречаемость заметно увеличились. К "малым болезням" относят септориоз, церкоспореллез и ризиктониоз зерновых культур [485]. Появление неспецифических заболеваний связывают с переходом некоторых форм бактерий от сапротрофного питания к паразитическому [441].

Восприимчивость зерновых культур к заболеваниям может повышаться и в результате использования регуляторов роста. В одном из опытов развитие септориоза на контрольных вариантах было на уровне 27,1 и 40,4%, а при обработке туром достигало, соответственно, 42,6 и 50,6% [574].

Аналогичные процессы возникают и при уничтожении сорных растений. При систематическом использовании атразина, симазина и пропазина наблюдалось исчезновение двудольных широколистных сорняков, но вместо них распространились однолетние из семейства злаковых — росичка и гречка пальчатая [516].

Ядохимикаты, используемые в сельском хозяйстве, следует рассматривать и как фактор, нарушающий экологические связи между живыми организмами, использующими химические вещества в качестве средства сигнальной информации. Известно, что в коммуникации организмов большое значение имеют феромоны. Эти соединения, выделяемые насекомыми даже в небольших количествах, оказывают влияние на поведение особей родственного или иного вида. Пестициды или их остатки, попадающие в организм насекомых, после ряда метаболических превращений могут включаться в состав феромонов и тем самым изменять их свойства. В результате расстраиваются взаимоотношения между организмами, входящими в экосистему. Нарушение химического общения возможно и вследствие утраты хеморецепторами обонятельного восприятия после воздействия на них ядохимикатов [1, 165].

В агрофитоценозах наряду с вредителями обитает большое количество самых разнообразных насекомых. Среди них имеются как полезные виды (хищники, паразиты), оказывающие прямое или косвенное воздействие на численность вредных видов, так и нейтральные. Присутствие последних в агрофитоценозах необходимо с точки зрения придания им экологической устойчивости. Ядохимикаты существенным образом меняют состав энтомофауны. Практически всегда они отрицательно влияют на численность как полезных, так и нейтральных насекомых. После использования метафоса против яблонной и персиковой тли гибнет 24,2—18,4% жуков двухточечной коровки, а в результате внесения в почву гранулированного ГХЦГ численность жукелиц и стафилинид снижается на 54,0—66,7% [12, 42]. При использовании инсектицидов на посевах пшеницы они снижали присутствие полезной энтомофауны на 50—80%. Это явилось одной из причин того, что численность тлей к концу вегетационного периода на варианте с примене-

нием ядохимикатов была в 2,5—19,4 раза больше, чем на контроле [146]. Большинство исследователей, изучавших влияние ядохимикатов на энтомофауну, отмечали сокращение ее видового разнообразия, увеличение показателя доминантности. Все это свидетельствует о снижении стабильности сообщества хищников и паразитов и увеличении — вредителей.

Отрицательное воздействие на полезную энтомофауну характерно и для пестицидов нового поколения — пиретроидов. Клещи семейства Phytoseiidae, которые в естественных фитоценозах контролируют численность паутиных клещей, оказались к ним более чувствительными, чем их жертвы. Кроме того, препараты из группы пиретроидов часто оказывают стимулирующее действие на размножение некоторых насекомых [474].

Уменьшение численности и видового разнообразия хищных и паразитных насекомых, являющихся естественными врагами фитофагов, для любых растительных сообществ, и особенно искусственных, следует расценивать с отрицательной стороны. Например, за каждые сутки взрослая личинка журчалки уничтожает 200, а жук божьей коровки 100 и более тлей [42]. После применения же на посевах озимой пшеницы аминной соли 2,4-Д в дозе 0,8 кг/га зараженность яйцекладок вредной черепашки теленомусами и клопов мухами-фузиями снижалась в 1,4—2 раза, а паразитированность гусениц моли в садах, обрабатываемых пестицидами, уменьшилась на 20% по сравнению с необрабатываемыми [437, 306].

Кроме прямого токсического, пестициды могут оказывать и отпугивающее воздействие на насекомых. В целом, в опытах с базудином заселенность ими фитоценоза составляла только 9% от контроля [12, 42]. Для восстановления численности полезных насекомых на полях и плантациях, обработанных ядохимикатами, требуется определенное время, причем первоначально должно произойти размножение фитофагов. Значит, каждая обработка фитоценозов способствует очаговому массовому размножению вредителей и обуславливает необходимость повторного использования средств защиты растений. Так создается своеобразный замкнутый круг.

Очень часто в качестве объекта для изучения воздействия ядохимикатов на энтомофауну используется медоносная пчела. Привлечение внимания к этому виду обусловлено его ролью в экосистемах, а также большим хозяйственным значением. Пчелы важнейший, а для некоторых растений — единственный опылитель. С их участием происходит оплодотворение 90% всех энтомофильных растений. Пчелы обеспечивают прибавку урожая сельскохозяйственных культур, стоимость которой в 10—20 раз больше стоимости продуктов пчеловодства [351]. Многие пестициды, и в том числе пиретроиды, опасны для пчел. Если они и не вызывают их гибели, то оказывают репеллентное действие, что затрудняет опыление растений в фитоценозах [210].

Одним из свойств пестицидов, определяющих их опасность, является способность к накоплению в тканях живых организмов. Это происходит или вследствие отсутствия в биологических системах целенаправленного меха-

низма детоксикации ксенобиотиков, или в результате несоответствия скорости их поступления из окружающей среды и последующего разрушения. Но поскольку все живые организмы включены в пищевые цепи, то при появлении пестицидов в первых звеньях они обнаруживаются и в последних. Как правило, на каждом последующем уровне концентрация химических веществ увеличивается в 10 раз. Примером могут служить данные, полученные при изучении миграции ДДТ в экологических системах дельты Дуная (табл. 30).

Аналогичные данные получены при наблюдении за накоплением пестицидов в почвенных животных. В качестве объекта были использованы дождевые черви. В почве, в которой они обитали, содержалось 0,001—0,030 мг/кг ДДТ и 0,01—0,015 мг/кг ГХЦГ, что значительно ниже принятых для этой среды ПДК (0,1 мг/кг для обоих соединений). В конце эксперимента дождевые черви в результате аккумуляции в их организме ядохимикатов содержали до 8,0 мг/кг ДДТ и до 2,0 мг/кг ГХЦГ [96].

Следовательно, даже при очень малых концентрациях ксенобиотики могут оказывать отрицательное влияние, вплоть до летального исхода, на организмы, замыкающие трофические цепи или стоящие несколькими звеньями ниже, но более чувствительные к их действию. Поэтому мишенью рассеянных в биосфере пестицидов может служить и человек.

Таблица 30

**Коэффициенты накопления остатков ДДТ в трофических цепях [258]**

Звено трофической цепи	Коэффициент накопления
Вода	1,0
Сестон (фитозоопланктон)	19—133
Макрофиты (тростник, рогоз)	110—144
Ракообразные	656—1511
Растительноядные рыбы	7600—8100
Хищные рыбы	31 000—32 100
Рыбоядные птицы	40 000—42 100

Экологическая оценка действия средств защиты растений на окружающую среду показывает, что в районах их применения происходит изменение численности и видового состава птиц. В сельскохозяйственном ландшафте они очень часто переходят из лесных массивов на поля, где в качестве корма используют, главным образом, различных насекомых. При обработке посевов инсектицидами или гербицидами пернатые склевывают погибших насекомых, и это может явиться одной из причин их отравления. Затем следует период, в течение которого птицы и особенно молодняк испытывают резкий недостаток корма, так как численность насекомых после применения пестицидов резко снижается [140, 653].

Инсектициды, а также минеральные удобрения могут попадать и непосредственно в организм птиц. Как известно, они нуждаются в мелких камушках, которые играют определенную роль в перерабатывании пищи, но вместо них пернатые могут заглатывать гранулированные инсектициды и минеральные удобрения, оказавшиеся на поверхности почвы. В отдельных случаях содержание ядохимикатов в организме птиц было настолько высоким, что их мясо становилось непригодным для употребления в пищу [559].

Отравление птиц пестицидами ведет к уменьшению количества яиц в кладке, отказу от высиживания, повышению смертности зародышей и птенцов [598, 502, 624, 621]. Специфичность действия хлорорганических препаратов (ДДТ) заключается в нарушении кальциевого обмена, в результате чего происходит истончение скорлупы яиц. Она становится непрочной, и поэтому часть яиц разбивается при высиживании. Наличие в рационах виргагаских перепелок микродоз дилдрина в два раза снижает число правильных ответных реакций на зрительные сигналы [118].

Вредное влияние пестицидов отмечается и в последующих поколениях. Например, утята от родителей, которые получали с кормом ДДЭ в количестве, соответствующем реальному уровню загрязнения, хуже реагируют на зов матери. Такое поведение повышает вероятность их гибели в опасных ситуациях. Некоторые специалисты считают, что смерть птиц может наступать не в результате острого отравления пестицидами, а от истощения, возникающего вследствие нарушения пищевых рефлексов [118]. На территории ФРГ использование ядохимикатов стало причиной уничтожения 13% видов птиц, занесенных в Красную книгу [40,1].

Пестициды представляют опасность для диких млекопитающих и других групп животных. Они являются причиной 39% всех случаев отравлений [559]. Чаще всего сообщается о их вредном влиянии на зайцев. В Литве, где интенсивно применяются средства защиты растений, в тканях зайцев содержание меди было в 1,5—2,0 раза выше, чем обычно [287]. Многолетнее применение пестицидов явилось причиной увеличения более чем в два раза, по сравнению с заповедными территориями, уровня мутаций в клетках костного мозга земноводных [324].

Ранее было показано, что применение пестицидов ведет к их появлению в грунтовых и поверхностных водах. Это, в свою очередь, оказывает воздействие на экосистемы водоемов. В литературных источниках очень часто сообщается о влиянии ядохимикатов на *Daphnia magna*. Концентрация прометрина в среде обитания рачков на уровне 1 мг/л вызывает увеличение процента уродств вплоть до третьего поколения [461]. Гербицид ялан после применения в рекомендованных дозах на посевах риса уменьшал численность и видовой состав этих ракообразных. До 83,3% увеличивалось число самок с пустыми выводковыми камерами, число яиц у самок снижалось до 5—6 при норме 10—30 штук. Отмеченные закономерности наблюдались и в лабораторных опытах при концентрации гербицида 0,003—0,02 мг/л. Ялан

проявляет свои токсические свойства и по отношению к рыбам (язь, плотва, карп). У них снижаются темпы роста, наблюдаются различные нарушения в функционировании нервной системы и внутренних органов [443].

Пребывание пиявок в растворе хлорофоса, метафоса и гексахлорана на уровне ПДК (соответственно 0,05, 0,05 и 0,02 мг/л) вызывает снижение плодovitости. Указанные пестициды в концентрациях ниже ПДК повреждают хромосомный аппарат хиромонид. Комбинирование ядохимикатов увеличивает их токсичность. Олигохеты, находящиеся в растворе хлорофоса и гексахлорана, погибали при концентрациях в 100 раз меньших, чем при раздельном их действии [51].

Загрязнение окружающей среды отражается на локомоторной активности гидробионтов, которая, как оказалось, является более чувствительным показателем действия пестицидов на организм животных, чем смертность. При изучении внутривидовых взаимодействий беспозвоночных в водной среде, содержащей 0,002 мг/л ГХЦГ, происходило уменьшение частоты спаривания, по сравнению с контролем, на 55—73%, а метилпаратион и хлордан в концентрации 0,003 и 0,002 мг/л изменяли иерархическое положение особей в группе. Метафос, присутствующий в воде, изменяет строительное поведение ручейника и снижает способность креветок спастись от хищных рыб [557].

Определенную экологическую опасность пестициды представляют и в связи с тем, что они могут изменять предпочитаемый животными организмами температурный оптимум. В опытах с атлантическим лососем наблюдали снижение на 3—5°C избираемых температур при суточном воздействии даже очень низких концентраций ДДТ (0,005—0,01 мг/л). По предположениям, это происходит в результате повреждающего действия ядохимикатов на центральную нервную систему. Нарушения поведения водных беспозвоночных наблюдали при ничтожном присутствии пестицидов в окружающей среде. Так, концентрация хлорофоса в воде на уровне 0,0005 мг/л вызывала изменение соотношения между покоем, плаванием и ползанием у медицинских пиявок [557]. Очень сложно предположить, как подобная перемена в поведении отразится на состоянии водных экосистем, но несомненно то, что это не останется без каких-либо последствий.

Для водных экосистем очень опасны пиретроиды, которые считаются безопасными для млекопитающих. Обычно значения ЛД<sub>50</sub> для рыб примерно в 10—100 раз меньше, чем для млекопитающих и птиц.

Продукты, образующиеся в результате превращений пестицидов в водоемах, также могут представлять опасность. Например, фотохимическая трансформация в воде 2,4-Д в присутствии гуминовых кислот ведет к образованию 2,4-дихлорфенола, ПДК для которого на три порядка ниже, чем для исходного соединения [83]. Под воздействием ядохимикатов изменяется видовой состав микрофлоры водоемов. Аминная соль 2,4-Д и симазин в концентрации, соответственно, 0,02 и 0,1 мг/л оказывают стимулирующее дейст-

вие на патогенные и угнетающее на сапрофитные микроорганизмы, участвующие в самоочищении воды [231, 231]. Изменение состава микрофлоры может быть причиной возникновения у обитателей водоемов различных болезней. В присутствии ядохимикатов вероятность заболевания увеличивается. Это наблюдали в опытах с рыбами. Причиной роста заболеваемости является прямое токсическое действие ядохимикатов и ослабление защитных иммунологических процессов, то есть снижение сопротивляемости организма к инфекции [557].

Приведенные факты, свидетельствующие об отрицательном действии пестицидов на живые организмы и экосистемы, освещаются в специальных информационных источниках. Но из поля зрения авторов, уделяющих внимание этому вопросу, ускользает очень важный момент, а именно: влияние пестицидов на микроорганизмы, обитающие на поверхности листовых пластинок и стеблей. В настоящее время установлено, что они играют существенную роль в жизни растений. Микрофлору надземной части растений называют эпифитной. В эту группу микроорганизмов входят аммонификаторы, молочнокислые бактерии, дрожжи и плесневые грибы. Основным источником питания, а следовательно, и фактором, определяющим преимущественное развитие тех или иных эпифитов, являются различные соединения, выделяемые поверхностными тканями растений [108]. Экологическая роль подобного рода микроорганизмов заключается в том, что они в обычных условиях не проникают в ткани листьев и стеблей, то есть не наносят им никакого вреда. Некоторые из представителей эпифитной микрофлоры, попадая с семенами в почву, заселяют корни растений и участвуют в процессах азотфиксации [469]. Но особенно важна их способность сдерживать развитие на поверхности растений фитопатогенных микроорганизмов [162]. Поэтому очень важно знать, как влияют пестициды на состав эпифитной микрофлоры и не изменяется ли в связи с этим устойчивость растений к различным болезням? Ранее нами уже отмечалось, что при интенсивном применении ядохимикатов сельскохозяйственные культуры поражаются "малыми болезнями". Не является ли это следствием отрицательного влияния пестицидов на эпифитные микроорганизмы или стимулирующего действия средств защиты растений на патогены, о чем сообщается в ряде работ [296]?

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать заключение, что повсеместное использование в земледелии ядохимикатов является причиной загрязнения почв, гидросферы и продуктов питания. Это создает прямую угрозу для человека и сельскохозяйственных животных. Ядохимикаты оказывают очень большое влияние на свойства растений. В худшую сторону изменяется их биохимический состав. Происходят изменения и на генетическом уровне. В результате ускоряется потеря сортовых свойств.

Чрезвычайно опасны ядохимикаты для агроэкосистем. Даже в небольших концентрациях они оказывают неблагоприятное воздействие на жи-

вые организмы, обладающие повышенной чувствительностью к ксенобиотикам. Исчезновение из экосистем отдельных видов в результате применения ядохимикатов значительно снижает устойчивость сообществ. Они переходят на другой, более низкий уровень. Для агроэкосистем это равнозначно постепенной деградации и падению продуктивности.

Несмотря на постоянно увеличивающиеся объемы применения пестицидов, потери от вредителей, болезней и сорняков не уменьшились, а сохранились на уровне 25—45% от величины получаемых урожаев. Если использование средств защиты растений и позволяет сохранить какую-то часть урожая, то они же одновременно наносят не меньший, а, по мнению некоторых специалистов, даже больший урон.

### **Глава 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ**

#### **3.1. Основные тенденции в использовании природно-ресурсного потенциала планеты**

Земледелие является составной частью хозяйственного комплекса, и поэтому его развитие должно в максимальной степени согласовываться с глобальными тенденциями, наблюдаемыми в современной экономике. Они со всей очевидностью проявились в конце XX в. и состоят в том, что многие страны ощутили на себе экономические последствия недостатка традиционных интенсивно используемых природных ресурсов, разрушения и загрязнения окружающей среды. Выделение этих тенденций важно не только для акцентирования нашего внимания на проблемах, возникающих в сфере природопользования, но и для использования их в качестве методологической основы, позволяющей оценить достоинства или недостатки предлагаемых путей развития земледелия.

Многие проблемы, связанные с воздействием на окружающий нас мир, перешли границы отдельных стран и превратились в глобальные. В настоящее время все мировое сообщество внимательно следит за тем, как изменяется качество нашей среды обитания. Причиной тому являются неутешительные выводы, которые были получены при прогнозировании развития человеческого общества. Они говорят о том, что если в ближайшее время не произойдет принципиальных изменений в развитии, то цивилизация может погибнуть от недостатка качественных, пригодных к переработке по существующим технологиям природных ресурсов, загрязнения, голода и болезней. В социалистический период мы придали этим предупреждениям политическую окраску и обвинили капиталистические страны в разрушении и загрязнении среды нашего обитания. Позднее оказалось, что в не меньшей степени

в этом виновны и страны социалистического лагеря.

Осознание грядущей опасности для всего мирового сообщества выразилось в концепции устойчивого социально-экономического развития. Она была принята в 1992 г. на конференции ООН по окружающей среде и развитию. Основные положения этой концепции, наиболее важные с точки зрения рассматриваемого вопроса, ориентируют все страны на всестороннюю экологизацию хозяйственной деятельности, максимально возможное энерго- и ресурсосбережение, сохранение естественной природной среды как единственного пространства, в котором возможно существование человека. Предложения международного форума были одобрены всеми странами участниками.

Учет экологической составляющей стал важным фактором, определившим развитие мировой экономики. Этому способствовали отдельные примеры разрушения и загрязнения окружающей среды, истощение месторождений высококачественных полезных ископаемых и энергетический кризис, возникший в 70-х гг. текущего столетия.

Обеспокоенные неблагоприятными тенденциями, многие государства стали проводить политику энерго- и ресурсосбережения. Используя методы экономического поощрения и принуждения, им удалось существенно снизить потребность в первичных ресурсах и энергии. Это хорошо просматривается на примере развитых стран (табл. 31).

Таблица 31

**Энергоемкость экономики  
отдельных стран (т нефт. эквивал. на 1000 долл. ВВП) [556]**

Страны	1973	1970	1984	Снижение в 1984 г. по отношению к 1973 г., %
ФРГ	0,64	0,59	0,52	19
Япония	0,70	0,61	0,50	29
Англия	0,93	0,85	0,73	22
США	1,14	1,05	0,90	21

В конце XX в. наметились особенности и в использовании природных ресурсов. Они также в обязательном порядке должны учитываться при организации любой хозяйственной деятельности, основанной на природопользовании. Первая особенность состоит в том, что природные ресурсы следует рассматривать как исчерпаемый объект. Суть второй — это постепенное ухудшение качества природных ресурсов, вовлекаемых в переработку и производство. Третья проявляется через увеличение стоимости природных ресурсов. Это происходит в результате увеличения затрат на добычу сырья, расположенного в худших геолого-географических условиях, а также транспортировку и переработку больших объемов низкокачественных ресурсов. Все перечисленные особенности хорошо просматриваются на примере агро-



химического сырья, используемого для производства минеральных удобрений. В предыдущих разделах рассматривались вопросы обеспеченности агрохимическими рудами, их качества и сложности добычи. Подтверждением отмеченных тенденций могут служить данные А.В. Постникова, И.Н. Чумаченко и Н.А. Кривопуста [449].

Основные особенности использования природно-ресурсного потенциала планеты очевидны и в отношении земельных ресурсов. Из года в год сокращается обеспеченность населения планеты земельными ресурсами. В 1900 г. на каждого жителя приходилось 1,5 га пашни. В 1975 г. этот показатель уменьшился до 0,58, а в 1987 г. — до 0,50 га. При сохранении существующих тенденций к 2000 г. он составит 0,41 га. Сокращение обеспеченности земельными ресурсами происходит из-за роста численности населения, разрушения пахотных угодий в результате водной и ветровой эрозии, опустынивания и отвода их на несельскохозяйственные цели.

Одновременно происходит ухудшение качества земельных ресурсов. Это является следствием отрицательного воздействия существующих способов выращивания сельскохозяйственных культур на физико-химические и биологические свойства почв. Во всем мире наблюдается их дегумификация. В резервном фонде земельных ресурсов, потенциально пригодных для сельскохозяйственного использования, увеличивается доля малоплодородных участков. Их перевод в пахотные угодья потребует больших затрат.

### **3.2. Энергетические аспекты современных систем земледелия**

Благодаря интенсивному использованию средств химизации темпы роста урожайности сельскохозяйственных культур в 60—70 гг. XX в. в большинстве стран были впечатляющими. Производители растениеводческой продукции видели перед собой радужные перспективы. Их техническая оснащенность позволяла на больших территориях регулировать минеральное питание культурных растений, контролировать численность сорняков и вредителей, подавлять развитие болезнетворных микроорганизмов. Вместе с тем, анализ потребления энергетических ресурсов показал, что для современного сельскохозяйственного производства, основанного на интенсивном использовании минеральных удобрений и пестицидов, характерна ярко выраженная тенденция повышения энергетической стоимости получаемой продукции (табл. 32). В 1945 г. в США на каждую ккал затраченной энергии получали 3,7 пищевых ккал, а в 1934—1970 гг. — только 2,8 ккал [186].

На фоне высокой обеспеченности природными ресурсами, низких цен на них, отсутствия ярко выраженного загрязнения и разрушения окружающей среды этот процесс не вызывал особого беспокойства. Многие считали, что увеличение объемов производства закономерно должно сопровождаться ростом затрат. Более внимательно к этому вопросу в России стали относиться в начале восьмидесятых годов. Отчасти это было обусловлено отголосками

энергетического кризиса, возникшего в капиталистической части мира. Он стимулировал не только разработку энерго- и ресурсосберегающих технологий, но и дал понять, что многие ресурсы, используемые промышленностью и сельским хозяйством, имеют ограниченные размеры, а их нерациональное использование поставит перед следующими поколениями землян множество трудноразрешимых задач. Энергетический кризис и осознание истощаемости ресурсов существенным образом изменили отношение человечества к проблемам, возникшим в последние годы в промышленной и аграрной сферах.

Таблица 32

**Потребление энергии в мировом сельском хозяйстве  
и производстве зерна [307]**

Годы	Потребление энергии, млн. баррелей нефтяного эквивалента	Производство зерна, млн. т	Удельный расход энергии на 1 т зерна, баррелей нефтяного эквивалента
1950	276	624	0,44
1960	545	841	0,65
1970	970	1093	0,89
1980	1609	1423	1,13
1985	1903	1667	1,14

Затраты на выращивание культурных растений стали быстро увеличиваться с 50—60-х гг. [403]. При всестороннем анализе эффективности сельскохозяйственного производства было установлено, что индустриально-технологические системы земледелия существенно уступают примитивным, которые использовались несколько тысячелетий назад. Затраты энергии на производство единицы продукции в современном сельском хозяйстве в десятки раз выше, чем у наших предков. Соотношение затрачиваемой и получаемой (сосредоточенной в урожае) энергии при различных системах земледелия приведено ниже [470].

<b>Системы земледелия</b>	<b>Соотношение</b>
Подсечно-огневая в бассейне реки Конго	1/65
Подсечно-огневая в Новой Гвинее	1/20
Выращивание кукурузы с применением удобрений в Нигерии	1/10,5
Выращивание кукурузы с применением удобрений и использованием сельскохозяйственных машин на Филиппинах	1/5
Производство кукурузы в США	1/2,0-2,5

Изучение структуры затрат показало, что большая их часть (50—60%) приходится на средства химизации. Причем их эффективность снижается при возрастании используемых доз. В табл. 33 приведены данные, показывающие изменение энергетической эффективности применения азотных удобрений. Указанный в ней коэффициент энергетической эффективности — это отношение энергии, накопленной в урожае, к затраченной. Из приведенных данных видно, что при использовании азотных удобрений в дозе 120 кг/га энергозатраты на производство 1 ц зерна увеличиваются на 38%. А коэффициент энергетической эффективности их применения снижается с 3,06 до 2,18.

Увеличение затрат на производство сельскохозяйственной продукции, снижение его энергетической эффективности полностью не согласуются с современными тенденциями в развитии мировой экономики и использовании природно-ресурсного потенциала территорий. Сопоставление имеющихся на планете запасов традиционных природных ресурсов и темпов их потребления показывает, что современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур разорительны. Например, если взять за стандарт затраты энергии на производство пищи на одного человека в США, то для обеспечения продуктами питания населения Земли необходимо потратить все разведанные запасы нефти за 13 лет [534].

Таблица 33

**Изменение показателя энергетической эффективности под воздействием средств химизации [427]**

Доза азота, кг/га д.в.	Энергозатраты на 1 ц зерна, МДж	Коэффициент энергетической эффективности
Без азота	564	3,06
60	641	2,65
90	703	2,41
120	776	2,18

Рост затрат энергии необходимо рассматривать не только с точки зрения обеспеченности энергоресурсами, но и с точки зрения воздействия на окружающую среду. Оно оказывается как на этапах извлечения и переработки ресурсов, так и после их использования в земледелии. Антропогенный поток энергии, оцениваемый по суммарным техническим затратам в агроэкосистеме, достигает 11 и более тыс. МДж/га. Это значительно выше допустимых пределов. По мнению Г.А. Булаткина, на серых лесных почвах он не должен превышать 6—7 тыс. МДж/га [82].

Увеличение затрат на выращивание культурных растений не может устроить ни нас, ни, тем более, последующие поколения. Поэтому необходимо выяснить глубинные причины их формирования и наметить пути снижения. Обстоятельный анализ энергетических аспектов применения средств

химизации сделан А.А. Жученко и А.Д. Урсул [186]. По их мнению, основной причиной снижения эффективности современного сельскохозяйственного производства является их несовершенство. С нашей точки зрения она состоит в несоответствии способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур природно-ресурсному потенциалу планеты. При этом под природно-ресурсным потенциалом мы понимаем не только нашу обеспеченность природными ресурсами, но и возможность природной среды противостоять отрицательному воздействию антропогенного фактора.

А.А. Жученко и А.Д. Урсул указывают на насыщение современных технологий, используемых в земледелии, разнообразными приемами, имеющими технократическую основу. Основная их функциональная роль состоит в создании благоприятных условий только для одного структурного компонента агроэкосистем и придании им устойчивого состояния, что и достигается, но только на ограниченный период времени. По его истечении экосистемы теряют стабильность и переходят на более низкие уровни продуктивности и стабильности. Восстановление их свойств требует вложения дополнительного количества энергии, что, в свою очередь, приводит к еще большему снижению устойчивости. Таким образом, возникает замкнутый круг. Попадая в него, мы вынуждены постепенно увеличивать расходы на поддержание устойчивости и продуктивности агроэкосистем.

Анализ существующих способов выращивания сельскохозяйственных культур в свете отрицательных последствий применения средств химизации раскрывает новые стороны традиционных приемов. Выясняется, что необходимость проведения некоторых из них по отношению к растениям вторична. В первую очередь она обусловлена не физиологическими потребностями выращиваемых культур, а необходимостью устранения отрицательных последствий, возникающих от ранее проведенных приемов. Так, длительное применение минеральных удобрений, повышая урожайность, оказывает неблагоприятное воздействие на физико-химические и биологические характеристики почвы. Ухудшается ее структура и азотфиксирующие свойства, повышается кислотность, активизируется почвенный комплекс фитопатогенных микроорганизмов. Эти неблагоприятные изменения должны устраняться внесением органических удобрений, известкованием, применением ядохимикатов, сдерживающих развитие возбудителей корневых гнилей. Если органические удобрения без каких-либо последствий устраняют отрицательное влияние минеральных удобрений, то применение ядохимикатов с течением времени неизбежно ведет к появлению дополнительных проблем.

Они состоят в том, что, уничтожая одни микроорганизмы, мы создаем условия для размножения других, которые опасны для растений в неменьшей степени. Расширение используемого спектра ядохимикатов с целью их подавления отрицательно влияет на всю почвенную экосистему. Нарушаются почвообразовательные процессы и, в конечном итоге, снижается содержание доступных для растений элементов минерального питания. Для поддержа-

ния необходимого уровня урожайности мы вносим минеральные удобрения со всеми вытекающими отрицательными последствиями. Следовательно, используя средства химизации, мы создаем предпосылки для проведения последующих приемов. Такова примерная схема возникновения в существующих технологиях затратных элементов. Их основное назначение состоит в ликвидации отрицательных последствий от проведения предыдущих приемов.

Возникновение затратных элементов можно проследить и на примере существующих способов обработки почв. В настоящее время при проведении агротехнических мероприятий используется мощная тяжеловесная техника. Повышая производительность агрегатов, она уплотняет почву. В результате происходит снижение урожайности. Недобор зерна ячменя по следу ДТ-75 достигает 5,9, Т-150 — 7,3, К-700 — 7,0 ц/га [460]. Для восстановления прежних характеристик верхнего слоя почвы достаточно провести несложную агротехническую операцию. Но разуплотнение глубоких горизонтов более трудоемко. Необходимо проведение глубокого рыхления — до 40 см. Обработка почвы на такую глубину связана со значительными затратами. Термин разуплотнение без изменения взят из вышеуказанного источника и, по нашему мнению, очень точно отражает суть затратных элементов, используемых в современных технологиях выращивания сельскохозяйственных культур.

Для выхода из создавшегося положения авторы адаптивной стратегии развития сельскохозяйственного производства [186] считают возможным снизить наши затраты энергии за счет использования генетического потенциала растений. Для этого они предлагают более тщательно подбирать культуры для выращивания в конкретных почвенно-климатических условиях. Их генетические и адаптивные характеристики должны максимально соответствовать параметрам окружающей среды. Это позволит существенно снизить наши затраты на их доведение до требуемых значений.

### **3.3. Эколого-экономическая эффективность применения в земледелии средств химизации**

Основным критерием, позволяющим выявить целесообразность применения в земледелии различных приемов, обеспечивающих повышение урожайности сельскохозяйственных культур, является их экономическая оценка. Ее значение многократно увеличивается в связи с переходом нашей экономики на рыночные отношения. Экономическим аспектам применения средств химизации в земледелии уделялось большое внимание и ранее. Однако в современных условиях, когда производители минеральных удобрений и ядохимикатов, а также потребители их продукции не получают государственной поддержки, когда очень быстро меняются цены на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, экономические вопросы требуют новой

проработки.

Существующие способы экономической оценки эффективности использования средств химизации в земледелии основаны на учете таких показателей, как прирост урожая, прирост валовой продукции, размер условно чистого дохода, издержки, связанные с применением минеральных удобрений, и рентабельность [206]. Прирост урожая сельскохозяйственных культур от применения минеральных удобрений ( $\Delta Y$ ) определяется по формуле:

$$\Delta Y = Y_v - Y_n,$$

где  $Y_v$  — урожайность на удобренном участке, ц/га;

$Y_n$  — урожайность на неудобренном участке, ц/га.

Прирост валовой продукции ( $\Delta Q_B$ , руб.) в результате применения минеральных удобрений определяется по формуле:

$$\Delta Q_B = Q_v - Q_n$$

где  $Q_v$  — сбор продукции на удобряемом участке, руб.;

$Q_n$  — сбор продукции на неудобряемом участке, руб.

Условно чистый доход ( $T$ , руб.) определяется по выражению:

$$m = (Q + q) - \Sigma Z,$$

где  $Q$  — стоимость основной продукции, полученной в результате применения минеральных удобрений, руб.;

$q$  — стоимость побочной продукции полученной в результате применения удобрений, руб.;

$\Sigma Z$  — сумма издержек, связанных с применением минеральных удобрений, руб.

$$\Sigma Z = C_{vd} + Z_d + Z_c + Z_v + Z_v + Z_p$$

где  $C_{vd}$  — стоимость удобрений, руб.;

$Z_d$  — затраты на транспортировку удобрений, руб.;

$Z_c$  — затраты на хранение и подготовку к использованию, руб.;

$Z_B$  — затраты на внесение, руб.;

$Z_v$  — затраты на уборку, доработку, перевозку дополнительной продукции, руб.;

$Z_p$  — затраты на реализацию дополнительной продукции, руб.

Рентабельность ( $R$ ) применения минеральных удобрений определяется

по формуле:

$$R = \frac{Q + q - Z}{Z} 100\%$$

Аналогичным образом определяется экономическая эффективность применения пестицидов.

При использовании средств химизации урожайность сельскохозяйственных культур, как правило, повышается. Одновременно происходит изменение показателей экономической эффективности. Урожайность и экономическая эффективность тесно связаны между собой. Их взаимосвязь неоднократно отмечали многие исследователи. И поэтому в научных и производственных сферах закрепилось мнение о высокой экономической эффективности применения в земледелии средств химизации. В наших опытах, проведенных в 1986—1988 гг. совместно с Н.М. Данько, применение минеральных удобрений также повышало рентабельность выращивания кормовой свеклы по сравнению с вариантом без удобрений с 19 до 32% (табл. 34).

Представленный порядок определения экономической эффективности широко использовался в 70—80-х годах. Он вполне устраивал нас, но... до тех пор, пока не проявились отрицательные последствия индустриально-технологического земледелия. В современных условиях, когда раскрывается его роль в снижении плодородия почв, ухудшении качества продукции растениеводства, следует внести коррективы в существующие методики. Они должны в максимальной степени учитывать не только положительные стороны, но и все отрицательные последствия использования современных приемов. Это является очень сложной задачей, так как повышение урожайности сельскохозяйственных культур фиксируется достаточно просто. Для определения снижения плодородия почв и ухудшения качества продукции необходимы тщательные наблюдения. Тем не менее, уже сделаны первые попытки в совершенствовании способов определения экономической эффективности применения средств химизации.

*Таблица 34*

**Экономическая эффективность применения минеральных удобрений при выращивании кормовой свеклы (в ценах до 1992 г.)**

Показатель	Вариант	
	Без удобрений	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>

Урожайность, ц/га		
корней	367	432
листьев	118	160
Содержание кормовых единиц в 1 кг		
корней	0,14	0,14
листьев	0,09	0,09
Стоимость кормовой единицы, руб.	12,50	12,50
Издержки производства, руб./га	650	723
Стоимость валовой продукции, руб./га	775	936
Прибыль, руб./га	122	235
Рентабельность, %	19	32

Экономико-экологическую эффективность химизации земледелия (ЭЭХ), по мнению А.В. Голубева, можно определять так:

$$ЭЭХ = Y - 3 \pm \Delta П - Б,$$

где Y — стоимость дополнительно полученного урожая, руб.;

3 — затраты на использование агрохимикатов, руб.;

$\Delta П$  — стоимостный эквивалент изменения почвенного плодородия, обусловленного химизацией земледелия, руб.;

Б — стоимость продукции растениеводства с повышенным содержанием нитратов и остаточных количеств пестицидов, руб.

Необходимость введения  $\Delta П$  обусловлена изменением почвенного плодородия, а Б — снижением стоимости продукции, наблюдаемых при использовании агрохимикатов [143]. Автором этой методики была проведена экономико-экологическая оценка эффективности химизации земледелия в бывшем СССР. Его расчеты показывают, что экономическая эффективность применения агрохимикатов, учитывающая их отрицательные последствия, заметно ниже, чем определенная по традиционным методикам. Рентабельность химизации, рассчитанная по ранее разработанным методикам, составила 203%, а с учетом экономико-экологической эффективности — только 137%.

Рассмотренная выше методика учитывает только снижение плодородия почвы и изменение цен на полученную продукцию. В то же время отрицательные последствия применения средств химизации более разноплановы. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование методики. Она должны учитывать как изменение плодородия почвы, так и загрязнение поверхностных и подземных водных объектов, почв, а также гибель живых организмов в агроландшафтах. Все эти виды воздействия на окружающую среду при соответствующих экономических расчетах могут иметь конкретное денежное выражение. Далее мы более подробно остановимся на этом вопросе и рас-



смотрим пример определения ущерба от загрязнения агрохимикатами водного объекта.

Комплексная эколого-экономическая эффективность использования средств химизации ( $\mathcal{E}_x$ ) в земледелии может определяться по формуле:

$$\mathcal{E}_x = \frac{(\Pi - Y - 3) \times 100\%}{3},$$

где  $\Pi$  — экономический эффект от использования средств химизации, руб.;

$Y$  — суммарный ущерб, возникающий в результате применения средств химизации, руб.;

$3$  — затраты, обусловленные применением минеральных удобрений, руб.

В соответствии с приведенной формулой применение в земледелии средств химизации или других приемов будет целесообразно только в том случае, если значение  $\mathcal{E}_x$  будет не ниже размера банковской ставки.

Эффект от использования средств химизации ( $\mathcal{E}_x$ ) определяется с учетом повышения урожайности и изменения цены на получаемую продукцию. При ухудшении ее качества (загрязнении остатками удобрений, ядохимикатами, тяжелыми металлами, снижении биологической полноценности и потребительских свойств), в соответствующей степени должна уменьшаться и стоимость.

Суммарный ущерб, возникающий в результате применения средств химизации ( $Y$ ), должен включать в себя ущерб от загрязнения поверхностных и подземных вод, земель и снижения плодородия почв.

Затраты, обусловленные применением средств химизации, включают в себя их стоимость, затраты на транспортировку, хранение, подготовку к использованию, внесение, а также на уборку дополнительной продукции и ее реализацию.

Определение экономического эффекта и затрат на использование агрохимикатов не представляет большой трудности. Значительно сложнее установить размер нанесенного ущерба. В сельскохозяйственном производстве это вообще не практикуется, что и является одной из причин недостаточного внимания к экологическим проблемам, возникающим в аграрной сфере. Отсутствие данных о величине возможного ущерба, наносимого окружающей среде в результате применения средств химизации, создает неправильные представления об их экономической эффективности и не стимулирует сельскохозяйственные предприятия на переход к экологически безопасным способам выращивания сельскохозяйственных культур. В то же время, по отношению к промышленным предприятиям, в России широко используются методики определения ущерба от загрязнения окружающей среды. Они должны применяться и в сельском хозяйстве. В соответствии с ними ущерб от загрязнения водных объектов определяется по формуле:

$$Y = \gamma \times \delta \times M,$$

где  $\gamma$  — удельный ущерб, руб./усл.т;

$\delta$  — безразмерная константа, имеющая определенное значение для различных водохозяйственных участков;

$M$  — приведенная масса вещества, поступающего в водный объект от источника загрязнения, усл. т.

Численное значение удельного ущерба ( $\gamma$ ) принимается равным нормативам оплаты, ежегодно устанавливаемым местными органами власти. Значение  $\gamma$  характеризует удельный показатель ущерба, возникающего при попадании загрязняющих веществ в конкретный водный бассейн. Его численное значение устанавливается природоохранными структурами и местными органами власти в зависимости от степени загрязнения водного объекта. Значение  $\gamma$  по Свердловской области для рек бассейна Волги составляет 1,1, а для рек бассейна Оби — 1,2.

Приведенная масса загрязняющего вещества ( $M$ ), попадающего в водоем, определяется следующим образом:

$$M = m - A,$$

где  $m$  — общая масса загрязняющего вещества, ежегодно поступающая в водный объект, выраженная в физических единицах, т;

$A$  — показатель относительной опасности вещества, поступающего в водный объект, усл.т/т.

Значение  $A$  рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{1}{\text{ПДК}_{\text{р/х}}},$$

где  $\text{ПДК}_{\text{р/х}}$  — предельно допустимая концентрация вещества в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, мг/л.

Расчеты, проведенные по изложенной методике, показывают (прил. 5), что при внесении удобрений в дозе  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и однократной обработке посевов кормовой свеклы пирамином ущерб от загрязнения поверхностных источников в ценах 1998 г. составил 15 руб. 16 коп. на 1 га. Это в определенной степени снижает экономическую эффективность применения средств химизации.

До настоящего времени экономический ущерб от загрязнения водных объектов определяется в соответствии с указанной методикой. Ее использование имело большое значение на первых этапах внедрения экономических методов в управление природопользованием. Однако со временем выяснилось, что она имеет ряд недостатков. Один из них состоит в том, что размер ущерба определяется только на момент поступления загрязняющих веществ в окружающую среду. При этом абсолютно не учитывается последствие ос-

точных количеств поллютантов, которые могут сохраняться в неизменном виде в природных объектах в течение длительного времени. Так, разложение некоторых видов ядохимикатов или продуктов их трансформации, загрязняющих почву и водные объекты, затягивается на несколько лет. Высокий уровень загрязнения природных объектов соединениями тяжелых металлов и другими токсичными веществами может наблюдаться на протяжении нескольких десятков лет. Поэтому ущерб от загрязнения должен представлять собой сумму годовых ущербов за весь период обнаружения загрязняющих веществ в окружающей среде.

Определение суммарного ущерба необходимо проводить с учетом концентрации загрязняющих веществ в окружающей среде. Она постепенно снижается в результате процессов детоксикации. На скорость разложения загрязняющих веществ влияют их физико-химические свойства, а также физические, химические и биологические характеристики среды, в которой они находятся. Следовательно, ущерб из года в год должен снижаться, а его общий размер может быть определен по формуле:

$$Y = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+D)^{t-1}},$$

где  $Y$  — суммарный ущерб от загрязнения окружающей среды;

$n$  — период времени, в течение которого загрязняющие вещества обнаруживаются в окружающей среде;

$y$  — размер ущерба в году  $t$ ;

$D$  — показатель, учитывающий скорость детоксикации загрязняющих веществ.

Показатель, учитывающий скорость детоксикации загрязняющих веществ ( $D$ ), определяется следующим образом:

$$D = \frac{100}{P} - 1,$$

где  $P$  — доля агрохимиката, не подвергающаяся разложению в течение года, %.

Расчеты показывают, что при ежегодном разрушении 30% загрязняющих веществ показатель, учитывающий скорость детоксикации, равен 0,43, при 40 — 0,67, при 50 — 1.

Приведенный порядок расчета ущерба от загрязнения окружающей среды позволяет более точно оценить последствия антропогенной деятельности. Его можно использовать в тех случаях, когда загрязняющие вещества, попадающие в природные объекты, сохраняются в неизменном виде на протяжении нескольких лет. Следовательно, ущерб, который в нашем примере составил 15 руб. 12 коп. при ежегодном сохранении в окружающей среде

20% средств химизации, за 4 года возрастет до 18 руб. 86 коп. на 1 га, что в еще большей степени снизит показатели экономической эффективности их применения.

Сельскохозяйственная наука должна не только отслеживать происходящие изменения, затрагивающие экономические стороны сельскохозяйственного производства, но и прогнозировать их эволюцию. В приложении к рассматриваемому вопросу перед ней стоит задача выявления основных тенденций, которые будут влиять на экономическую эффективность применения средств химизации в земледелии. В этом аспекте необходимо обратить внимание на возможное повышение стоимости средств химизации. В табл. 35 содержатся сведения о динамике цен на удобрения. Из них следует, что они в 1985 г. по отношению к 1975 г. составили 116 — 175%. Еще больший рост цен наблюдается в последние годы. И это обусловлено не только переходом на рыночные отношения. Одна из причин повышения стоимости агрохимических руд и энергоносителей состоит в увеличении затрат на добычу и переработку первичных природных ресурсов, что рассматривалось ранее. Последствия отмеченной тенденции усугубляются диспаритетом цен, возникшим на почве экономического кризиса.

Таблица 35

**Динамика промышленных цен на удобрения [181]**

Вид удобрения	Оптовая цена,		Изменение цены, %
	1975	1985	
Суперфосфат простой	38	44	116
Суперфосфат двойной	107	139	130
Калий хлористый	27	31	116
Сульфат калия	97	170	175
Нитрофоска	45	61	134

Повышение стоимости средств химизации следует ожидать и в результате ужесточения природоохранных требований, предъявляемых к предприятиям, участвующим в их производстве. Ранее этим вопросам уделялось недостаточное внимание. Промышленные предприятия сэкономили на необходимости проведения природоохранных мероприятий, что позволяло им поддерживать относительно невысокие цены на свою продукцию. Теперь всем предприятиям в целях повышения их заинтересованности в снижении отрицательного воздействия на окружающую среду дано право относить затраты на проведение природоохранных мероприятий, обеспечивающих соблюдение производственно-экологических нормативов, на себестоимость продукции.

В современных условиях более высокие требования предъявляются к качеству используемых минеральных удобрений. В них не должно содер-

жаться вредных компонентов, являющихся потенциальными загрязнителями почв, грунтовых вод и сельскохозяйственных растений. В то же время расчеты показывают, что удаление из сырья, используемого для производства фосфорных удобрений, только одного элемента кадмия или фтора повышает затраты на 20% [136].

В целом под влиянием комплекса факторов затраты на производство средств химизации непрерывно увеличиваются. В период с 1980 по 1986 г. среднемировая себестоимость производства диаммофоса увеличилась на 28, а фосфоритной муки — на 16%. Одновременно на мировом рынке из-за превышения предложения над спросом произошло снижение цены на эти виды удобрений. Они снизились, соответственно, на 12 и 10%. Полагают, что если эти тенденции сохранятся, то производителям минеральных удобрений будет невыгодно вкладывать финансовые средства в расширение производства [527].

Снижение экономической эффективности применения в земледелии средств химизации в перспективе следует ожидать и в результате возможного введения специальных налогов. Так как сельскохозяйственное производство ощутимо воздействует на окружающую среду, возникает необходимость в управлении этим процессом. В рыночных условиях оно должно основываться на экономических механизмах. В соответствии с законами, регулирующими природопользование, с предприятий, загрязняющих окружающую среду, взимается плата. Это является одним из способов повышения заинтересованности предприятий в бережном отношении к природной среде. Но реально он действует только в отношении промышленных предприятий. С сельскохозяйственных предприятий плата за загрязнение окружающей среды не взимается. Это обусловлено не только их тяжелым экономическим положением, но и сложностью установления факта загрязнения. Поэтому нам, очевидно, следует воспользоваться опытом других стран и установить налог на средства химизации. В Дании он взимается за несоблюдение требований по безопасному применению минеральных удобрений. Его введение равноценно увеличению цен на удобрения на 75—100%. В Австрии в 1986 г. узаконен "почво-защитный сбор". Его размер составляет 5 австрийских шиллингов за 1 кг действующего вещества азота, 3 шиллинга за 1 кг калия и 1,5 шиллинга за 1 кг фосфора. Правительством Швеции введен экологический налог, который составляет 0,60 шведской кроны за 1 кг азота и 1,2 шведской кроны за 1 кг фосфора. Размер установленного налога равен 10% стоимости удобрений. Налогом облагается и применение в сельском хозяйстве ядохимикатов. Основная цель этого состоит в создании экономических предпосылок для сокращения использования средств защиты растений [84].

Все вышеизложенное позволяет заключить, что эффективность использования средств химизации в земледелии, определяемая с учетом экологических последствий, значительно ниже, чем это считалось до сих пор. В перспективе она снизится еще сильнее из-за роста цен на средства химиза-

ции, машины для их внесения и возникновения различных эколого-экономических издержек, связанных с применением агрохимикатов.

## **Глава 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЕЕ ПЛОДОРОДИЯ**

### **4.1. Живые организмы как фактор образования и эволюционного развития почв**

Образование почвенного покрова на поверхности планеты происходило в течение длительного времени. По оценкам специалистов этот процесс начался 400—500 млн. лет назад, а возраст современных почв, образовавшихся на месте древних, составляет 5—10 тыс. лет [249]. Первоначально земная кора подвергалась только физическому и химическому выветриванию, постепенно превращаясь в рухляк — раздробленную горную породу. Параллельно в океанах и морях происходило становление различных форм жизни. На определенном этапе развития некоторые живые организмы покинули водную среду и начали осваивать поверхность суши. С момента интенсивного населения материков сначала микроорганизмами (бактериями, грибами, водорослями), а затем более сложными формами начинается активный почвообразовательный процесс. Именно воздействие различного рода живых организмов на материковую породу явилось одним из основных факторов формирования почв нашей планеты. В то же время образование почв стало решающим условием, определившим направление эволюционного развития живой материи на суше.

До выхода растений из водной среды на поверхность земли в почвообразовательном процессе участвовали, главным образом, автотрофные микроорганизмы, способные синтезировать органическое вещество из неорганического. Их размножение в коре выветривания стимулировалось характерными для того периода высокими положительными температурами и обилием ат-

мосферных осадков. Ничтожный запас органического материала сдерживал развитие микроорганизмов с другим типом питания. В таких условиях реальное преимущество получили виды, обладающие механизмами, позволяющими усваивать минеральные соединения материнской породы и поглощать азот из атмосферы.

В результате жизнедеятельности автотрофов образующийся примитивный почвенный покров постепенно обогащался синтезированными органическими соединениями, и, следовательно, создавались предпосылки для размножения гетеротрофов. Так происходило увеличение видового состава микроорганизмов, положительно отразившееся на интенсивности почвообразовательного процесса. Необходимо подчеркнуть, что основную роль в его стимуляции сыграли азотфиксаторы, которые определили направление эволюции почв. Азотфиксирующие микроорганизмы явились своего рода "генетическим веществом", регулирующим последовательность и интенсивность энергомассообмена на отдельных этапах почвообразовательного процесса. Это утверждение, очевидно, справедливо не только для начальных фаз преобразования материнской породы, но и для зрелых почв. Более того, можно предположить, что значение биологической азотфиксации в почвах, подвергнутых антропогенному воздействию, возрастает и не может быть заменено внесением технического азота, который коренным образом изменяет пути превращения органического вещества.

Не менее важным для эволюционного развития почв, чем образование сложных органических соединений, явилось разрушение горных пород под воздействием живой материи. Как выяснилось, микрофлора, поселяющаяся на поверхности минералов, участвует в их деструкции. Сейчас известно несколько способов воздействия микроорганизмов на породы. Они могут подвергаться эрозии в результате выделения микрофлорой ферментов, проявляющих свои свойства по отношению к элементам, заключенным в кристаллические решетки. Биологическое разрушение минералов возможно и вследствие способности бактерий и водорослей к слизиобразованию. В состав слизи входят уоновые кислоты, которые, реагируя с частями кристаллических решеток, нарушают их целостность. Деструкция компонентов почвообразующей породы возможна и под воздействием других продуктов метаболизма микрофлоры. К ним относятся органические и минеральные кислоты, а также биогенные щелочи [24].

Размножающиеся живые организмы, которые захватывали все новые и новые территории, оказывали сильное воздействие на поверхность литосферы и после своей гибели. В результате биохимической трансформации накапливавшейся органики образовывались гуминовые и фульвокислоты. Они в малых концентрациях по своему разрушающему воздействию на минералы превосходят слабые растворы кислот (табл. 36).

Поскольку до выхода растений на поверхность суши в почвообразовании участвовали только микроорганизмы, то древние почвы существенно

отличались от формировавшихся позднее. Но, тем не менее, именно они позволили псилофитам (первым наземным растениям) переселиться из мест произрастания, прибрежных мелководий на материк. Приход растений на поверхность земли коренным образом изменил характер преобразования древних почв. Если до этого момента течение почвообразовательного процесса определялось развитием азотфиксирующих организмов и накоплением незначительного количества синтезированных углеродсодержащих соединений, то произрастание растений привело к возникновению большой массы органического вещества, и к концу палеозоя, то есть уже через 200 млн. лет после начала обживания растениями суши, на территориях с обильной растительностью образовались мощные перегнойные горизонты. В то время как на образование древних почв понадобилось около 2 млрд. лет [249].

Таблица 36

**Растворение минералов различными кислотами,  
% от растворения в HCl (Пономарева, цит. по [167])**

Минерал	HCl 0,005 н	Дистиллированная вода	Лимонная кислота, 0,005 н	Фульвокислота, 0,005 н
Нефелин	100	4	68	96
Роговая обманка	100	25	86	142
Оливин	100	20	115	130
Биотит	100	12	76	90
Микроклин	100	14	52	167
Монтмориллонит	100	249	370	430
Каолин	100	67	118	364

Как уже упоминалось, азот в гумусовом горизонте аккумулировался постепенно, сначала благодаря самостоятельной деятельности микрофлоры, а впоследствии — ее симбиозу с высшими растениями. Макро-и микроэлементы накапливались в результате другого процесса, в котором живые организмы также принимали активное участие. Его суть заключается в следующем. На поверхности планеты постоянно существует геохимический перенос водорастворимых продуктов выветривания и почвообразования. Элементы, высвобождающиеся из горных и материнских пород, становятся подвижными, но в то же время многократно увеличивается их доступность для живого вещества. Биота моментально избирательно перехватывает освобожденные из минералов биогенные химические элементы и включает их в состав органических соединений, предотвращая, таким образом, их вынос. В результате этого они закрепляются в гумусовом горизонте и не выносятся из зоны выветривания или почвообразования. Элементы, которые не имеют большого



значения для живых организмов, вовлекаются в геохимические процессы и постепенно выносятся из биогеохимически активной зоны. Скорость миграции зависит от их растворимости и подвижности. Следовательно, более высокое содержание макро- и микроэлементов в почве объясняется не их накоплением в прямом смысле слова, а постепенным удалением за счет миграции из коры выветривания или материнской породы веществ, не представляющих "интереса" для живых организмов [439].

Вовлечение в почвообразовательные процессы разнообразных веществ, образующихся в растениях и микроорганизмах и попадающих в почву после их гибели или в качестве продуктов жизнедеятельности, существенным образом изменило среду. Она стала более гетерогенной по своему строению и химическому составу. Это способствовало появлению в почвенном горизонте многочисленных пространственных и пищевых экологических ниш. В результате произошло увеличение заселенности почвы различными видами живых организмов. Расширение разнообразия происходило не только путем прямого заселения, но и, очевидно, в результате эволюционного развития живой материи, вызванного изменением среды обитания.

Некоторые организмы в качестве источника питания стали использовать азотсодержащие соединения, а поэтому впоследствии полностью или частично утратили способность связывать атмосферный азот. В дальнейшем все население почвы и она сама составили единую систему. Изменения, затрагивающие любой из ее компонентов, неизбежно вели к соответствующим преобразованиям у других. Поэтому эволюция микроорганизмов, почвенных животных, растений и самих почв происходила сопряженно. В результате этого между компонентами системы сложились очень тесные взаимозависимые отношения. Классическим и наглядным свидетельством сказанного является симбиоз бобовых растений и клубеньковых бактерий. В нем как среде обитания организмов, до вступления в симбиотические отношения, определенное место отводится и почве.

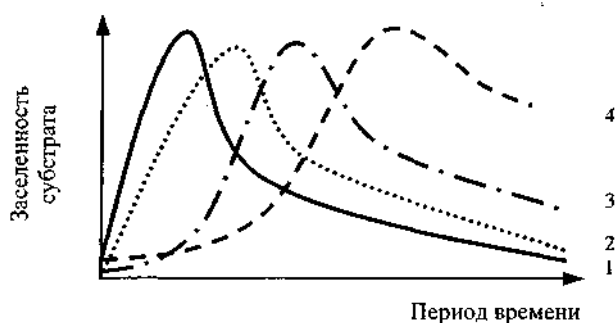
Такова вкратце очень упрощенная схема процесса почвообразования (описание многих деталей опущено) и роль в нем населения почвы. Автор сознательно уделит внимание эволюционному характеру формирования почв, имея намерения показать, насколько тесна связь между почвой, ее населением и растениями. Значение этого вопроса в обосновании последующих выводов чрезвычайно велико, и поэтому представляется важным более подробно остановиться на составе педоценозов и значении отдельных их членов в жизни почв.

#### **4.2. Живые организмы почвы и особенности их жизнедеятельности**

В современном земледелии почва, как правило, рассматривается только как субстрат биогенного происхождения, которому необходимо придать определенные физико-химические свойства, обеспечивающие хорошее мине-

ральное питание культурных растений. Такая точка зрения преобладала в течение длительного времени, и постепенно это привело к недооценке биологических свойств почвы и преувеличению роли средств химизации в повышении плодородия сельскохозяйственных земель. В свете современных знаний почва, при необходимости сохранения хозяйственного значения, должна рассматриваться и как среда обитания многочисленных живых организмов. Без учета этого положения невозможно эффективное воспроизводство ее плодородия.

Почвенная биота выполняет целый ряд функций. Главная из них состоит в деструкции органического материала растительного и животного происхождения, попадающего в почву. Она осуществляется разнообразными бактериями, грибами и почвенными животными. На начальной стадии его разложения преимущественное развитие получают те виды живых организмов, которые способны использовать легко растворимые вещества. Исчерпание этого ресурса ведет к тому, что численность организмов, использовавших его, сокращается, а их место занимают следующие виды. Они в силу своих приспособительных особенностей обладают качествами, позволяющими усваивать соединения, недоступные для других организмов. Но и их период активной жизнедеятельности ограничен наличием необходимого для них источника питания. Таким образом, трансформация органического материала в почве осуществляется последовательно сменяющимися друг друга живыми организмами (рис. 3).



**Рис. 3. Изменение заселенности субстрата микроорганизмами в процессе его деструкции:**

1 — сахарная микрофлора; 2 — аминокислотная микрофлора; 3 — микроорганизмы, разрушающие целлюлозу; 4 — микроорганизмы, разрушающие лигнин

Из рис. 3 видно, что первоначально субстрат интенсивно заселяется сахарной микрофлорой, затем аминокислотной, а на последних стадиях раз-

ложения появляется микрофлора, разлагающая вещества, наименее поддающиеся деструкции. Следовательно, присутствие в почве разнообразных живых организмов, способных включаться в процесс деструкции органического вещества, является главным условием его быстрой минерализации.

Доступность органических соединений, в порядке возрастания их устойчивости к расщеплению, выражается следующим рядом: сахара < крахмал < гемицеллюлозы < пектины < белки < целлюлоза < лигнины < суберины < кутины [62].

При постепенной деструкции почвенной органики небольшая ее часть превращается в устойчивые соединения — гумусовые вещества. Их накопление в течение длительного периода служит главным фактором формирования почв и их плодородия. Крайним проявлением нашего вмешательства в почвенные процессы является нарушение существующих схем трансформации органического вещества. Его деструкция может происходить с образованием меньшего количества гумусовых веществ. Это ведет к разбалансировке процессов накопления и потерь почвой углерода. В результате возникает дегумификация почв. Она наблюдается на большей части сельскохозяйственных угодий. Многие объясняют ее появление недостаточным внесением органических удобрений, но при этом забывают о том, что первопричина этого процесса состоит в ухудшении биологических свойств почвы.

#### *4.2.1. Бактерии*

Самой представительной группой среди живого населения почвы являются бактерии. Эти микроорганизмы в отсутствии грибов и некрофогов первыми начинают заселять остатки растительного и животного происхождения. Роль бактерий в почве чрезвычайно многообразна, и кроме деструкции органических веществ они прямо или косвенно участвуют в превращении элементов питания растений (нитрификации, денитрификации и т. д.) и образовании гумуса.

Численность бактерий в почве достигает колоссальных размеров (от 1 до 10 млрд. клеток в 1 г почвы). Она никогда не остается постоянной в течение вегетационного периода, так как, наряду с поступлением органического вещества, в очень сильной степени зависит от физико-химических свойств почвы, ее влажности и температуры. Поэтому даже в течение одного месяца в почве может быть зарегистрировано от 6 до 10 пиков максимума численности, за которыми следует 3—5-кратное уменьшение [359, 191]. Основная масса бактерий сосредотачивается в верхних гумусовых горизонтах, но отдельные виды проникают и в более глубокие слои. Несмотря на то, что абсолютное их количество невелико, они одними из первых осуществляют биологизацию материнской породы и как бы подготавливают ее к вовлечению в активный почвообразовательный процесс.

Общая биомасса бактерий в почве составляет примерно от 1 до 5—7 т/га [78, 359, 268]. Эта величина сравнима с одноразовой дозой органических удобрений. Однако судить о роли микробов в повышении плодородия почвы

по численности и общей биомассе было бы неверно, так как наряду с этим необходимо учитывать активную поверхность их клеток, равную 500 га на одном гектаре поверхности поля [130]. Нам представляется, что они являются своего рода сетью почвенных биологических мембран, наличие которых делает возможным и на которых происходит большое количество биохимических превращений и взаимодействий, определяющих характер и интенсивность почвообразовательного процесса.

Не должен оставаться без внимания и тот факт, что бактерии очень быстро развиваются. По некоторым данным, за один месяц летнего времени они могут давать до 7 генераций, а средняя скорость их размножения составляет около 10 генераций в год [359, 191]. Поэтому бактериальная масса постоянно трансформируется. В течение всего теплого периода часть бактерий погибает, при этом органические вещества, входящие в состав их клеток, или становятся компонентами почвы, или после ряда биохимических превращений могут использоваться растениями и вовлекаться в новый цикл микробиологического процесса.

Почвенные микроорганизмы являются естественным источником пополнения запасов азота, не вызывающим загрязнения окружающей среды. Исторический ход изучения азотфиксирующей способности почв показывает, что возможности использования этого явления в земледелии раскрыты далеко не полностью и с течением времени будут повышаться. Впервые предположение о способности бобовых растений усваивать азот из воздуха были высказаны в 1878 г. Ж.Б. Буссенго. Позднее, в 1893 г., русским ученым микробиологом С.Н. Виноградским были выделены свободноживущие азотфиксирующие бактерии *Clostridium pasterianum*. В дальнейшем такая же способность была обнаружена у целого ряда бактерий. В последние годы в результате изучения особенностей азотфиксации различными микроорганизмами в ризосфере корней выявлен новый механизм биологического связывания азота — ассоциативная азотфиксация [545, 546].

Наиболее эффективно на современном этапе развития земледелия можно использовать симбиотическую азотфиксацию. По данным швейцарских ученых, клевер ползучий и луговой усваивает за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями в первый год использования, соответственно, 275 и 340 кг/га азота [225]. Положительно складывается баланс азота в почве и при выращивании однолетних бобовых культур, что особенно заметно при их уборке до фазы созревания семян. Только за счет широкого использования инокуляции семян бобовых растений клубеньковыми бактериями предполагается сократить потребность в азотных удобрениях на 30% [386]. Возможности замены технического азота его биологической фиксацией в почвах еще шире, но для их реализации необходимо продолжать изучение особенностей этого уникального явления.

Другим источником, позволяющим в определенной мере восполнить дефицит азота в земледелии, является несимбиотическая азотфиксация сво-

бодноживущими бактериями, не имеющими прямой связи с корнями растений. Она осуществляется микроорганизмами самых разных таксономических групп. К наиболее изученным относятся некоторые виды родов *Clostridium* и *Azotobakter*. Поступление азота в пахотные земли за счет несимбиотической азотфиксации составляет в среднем 15 кг/га.

Изучение биологической азотфиксации с использованием высокочувствительных методов, разработанных в последние годы, позволило обнаружить повышение ее активности в зоне корней растений. Причем способность к азотфиксации в этом случае, наряду с известными видами бактерий, была выявлена у большого числа микроорганизмов. Оказывается, 81% бактерий, сосредоточенных в гистоплане, 71% в ризоплане и 2,5% в ризосфере обладают нитрогеназной активностью [97]. Такая азотфиксация получила название ассоциативной.

Основным источником энергии для бактерий, участвующих в ассоциативной азотфиксации, являются прижизненные корневые выделения растений. Выделительная функция корневой системы зависит от фазы развития растений и интенсивности фотосинтеза. Поэтому эффективность ассоциативной азотфиксации, в конечном итоге, определяется напряженностью процессов фотосинтеза и количеством поступающего из растений в почву экссудата. Поступление азота в биогеоценозы умеренного климата за счет ассоциативной фиксации составляет в среднем 25—55 кг/га, а в максимуме может достигать 50—150 кг/га [546, 55].

Особого внимания заслуживает то, что подобный механизм усвоения атмосферного азота обнаружен у мятликовых, крестоцветных, зонтичных, сложноцветных и других семейств, поэтому практическое значение открытия чрезвычайно велико. Уже сделаны первые попытки использования инокуляции ассоциативными diaзотрофами в качестве приема, повышающего урожайность сельскохозяйственных культур. Выраженный положительный эффект регистрируется не во всех случаях и объясняется слабой изученностью вопроса. Вместе с тем, имеются убедительные данные, свидетельствующие о перспективности выбранного направления поиска. Так, в полевых исследованиях бактериализация природными азотфиксирующими ассоциациями тимофевки луговой и овсяницы тростниковидной способствовала повышению их продуктивности на 19,9—18,8% и содержания сырого белка на 1,0—2,6% [56]. В опыте, проведенном в Институте микробиологии [468], инокуляция некоторых сортов риса вызвала увеличение сухой массы растений и содержание общего азота, соответственно, на 42—63 и 17—44%. Положительный эффект ассоциативной азотфиксации на растения объясняется следующими причинами: улучшением азотного питания, воздействием на растения гиббереллинов, цитокининов и ауксинов, продуцируемых микроорганизмами, и более интенсивным использованием элементов минерального питания [318].

#### 4.2.2. Грибы

Неотъемлемым компонентом педоценозов являются почвенные грибы. Эти микроорганизмы представляют, как правило, группу сапрофитных организмов, обитающих на растительных и животных субстратах. Почвенные грибы имеют ряд биологических качеств, определяющих их роль в педоценозах. Прежде всего необходимо отметить, что они, в отличие от других микроорганизмов, участвуют в разложении высокомолекулярных углеводов и являются почти единственными разрушителями лигнина [354]. Эта особенность объясняется способностью грибов синтезировать в своих клетках и затем выделять в окружающую среду разнообразные гидролитические ферменты. Поэтому растительные остатки, попавшие в почву или на ее поверхность, первоначально подвергаются воздействию микрогрибов. Кроме упомянутого свойства им характерна и очень высокая (до 50—60%) степень усвоения разлагаемого органического материала [542].

В 1 г почвы разных типов обнаруживается от 10 до 300 тыс. грибов [359]. Предпочитаемое ими место обитания ограничено поверхностным слоем почвы. Численность микрогрибов на глубине ниже 10 см очень сильно уменьшается, что связано с их требовательностью к условиям аэрации и недостатком в нижних горизонтах органического вещества [354]. Суммарная длина грибного мицелия в почвах холодного и умеренного климата измеряется от нескольких сотен до тысяч метров на 1 г почвы. Для почв южной зоны этот показатель на порядок меньше. Максимальная биомасса грибов (мицелии + споры) отмечена в среднеподзолистых и дерново-подзолистых почвах и составляет более 200 г/м<sup>2</sup>. В отдельных источниках биомасса грибов оценивается в 100—1000 кг/га [7, 78].

Почвенные грибы отличаются большой устойчивостью к факторам внешней среды. Они не снижают своей активности даже в почвах с pH 4,0—5,0, где грибного мицелия обнаруживается еще больше, чем в субстратах с нейтральной и щелочной кислотностью [354]. Грибы хорошо развиваются и в очень бедных почвах. При недостатке минерального питания они выделяют различные органические кислоты, которые разрушают минералы и переводят элементы, входящие в их состав, в растворимое состояние. В этом заключается одно из проявлений участия грибов в почвообразовательном процессе.

Грибы оказывают существенное влияние на структуру почвы. Разлагая растительные остатки, они способствуют образованию большого количества органических веществ, цементирующих частички почвы. Аналогичный эффект оказывает грибной мицелий, который оплетает и механически уплотняет почвенные агрегаты [193, 354]. Образовавшиеся таким образом структурные компоненты обладают высокой водопрочностью и устойчивостью к механическому воздействию. Все микроорганизмы почв в порядке уменьшения их структурообразующей способности располагаются следующим образом: грибы- и слизеобразующие бактерии < актиномицеты > дрожжи > большинство бактерий [354].

Некоторые почвенные грибы способны образовывать с высшими рас-

тениями микоризу. Она представляет собой симбиоз мицелия гриба с корнями растений. Существует два основных типа микоризы. Эндотрофная (везикулярно-арбускулярная) и эктотрофная. При везикулярно-арбускулярной микоризе (ВАМ) гифы гриба проникают внутрь корня через клетки эпидермиса и образуют там мицелий. Каких-либо существенных внешних морфологических изменений корней не происходит. Для эктотрофной микоризы характерно оплетание гифами корня и образование на его поверхности чехлика. В результате этого исчезают волоски на корне, а сам он начинает ветвиться [354]. Инфицирование однолетних растений микоризными грибами происходит в фазу 3—4 листьев и достигает максимума в период цветения и плодоношения [294].

Наблюдения показывают, что почти все высшие растения образуют микоризу. Более 86% луговых растений естественных ценозов принадлежит к числу микотрофных видов. К ним относятся и многие сельскохозяйственные культуры, такие как хлебные злаки первой и второй групп, бобовые, овощные, ягодные и плодовые [553, 41].

Практическое значение ВАМ для растениеводства заключается в том, что она оказывает положительное воздействие на обоих членов сообщества. Роль растения-хозяина заключается в снабжении грибов углеводами, витаминами и, предположительно, аминокислотами, в отсутствии которых микоризные грибы не развиваются [294]. Грибы, в свою очередь, разрастаясь, увеличивают всасывающую поверхность корней, что способствует улучшению питания растений макро- и микроэлементами. Полагают, что хорошо развитая ВАМ позволяет повысить доступность фосфора в почвах, где отмечено его низкое содержание. Это объясняется тем, что гифы способны поглощать минеральные соединения из почвы даже тогда, когда их концентрация в почвенном растворе ниже той, которая необходима для растений [43].

Благотворное влияние микоризы на растения проявляется и в лучшей устойчивости последних к недостатку влаги и корневым инфекциям. Имеются сведения и о выработке микоризными грибами фитогормонов. В опытах с некоторыми видами бобовых культур микотрофный тип питания растений, наряду с увеличением урожая, способствовал усилению симбиотической азотфиксации на 50 и более процентов [41, 294, 490].

#### *4.2.3. Водоросли*

Особое место среди почвенных микроорганизмов, благодаря фотосинтезирующей способности, занимают водоросли. Если бактерии и грибы относятся к группе редуцентов, то водоросли, как и высшие растения, являются продуцентами органического вещества. Они обнаруживаются в почвах всех природно-климатических зон. В настоящее время известно около 2000 видов водорослей, встречающихся в разных типах почв. В дерново-подзолистых почвах обитает более 100 видов, а в почвах пойменных лугов — 231 вид водорослей. Среди них обнаруживается 86 видов сине-зеленых, 87 —

зеленых, 36 —желто-зеленых и 22 — диатомовых [139]. В агрофитоценозах Южного Урала преобладающее развитие имеют диатомовые водоросли [223].

Наибольшее количество водорослей сосредоточено в верхнем горизонте почвы, ограниченном глубиной проникновения солнечного света. Обычно в 1 г почвы содержится от 5 тыс. до 1,5 млн. клеток. Но в благоприятных условиях численность водорослей на 1 см<sup>2</sup> поверхности почвы может достигать 40 млн., а биомасса 1,5 и даже 2 т/га [593, 38]. Во время массового размножения колонии водорослей становятся хорошо заметными, так как придают почве зеленый оттенок или образуют на ней зеленую корочку в несколько миллиметров толщиной [596].

В почвах умеренной зоны биомасса водорослей в пересчете на сухое вещество составляет 2,3—29,0 кг/га [423]. В течение всего вегетационного периода она постоянно обновляется. Так, в выщелоченном черноземе биомасса водорослей обновляется за 1—4 дня [222]. За этот же срок масса почвенных водорослей может увеличиться в 2—3 и более раз. Поэтому общее количество органического вещества, поступающего в почву в результате жизнедеятельности водорослей, во много раз превышает те данные, которые получают при разовом учете их массы.

В исследованиях, проведенных на Южном Урале, месячная продукция водорослей в мае составила 45,7 кг/га, под яровой в июне — 282,3, на залежи в мае — 11,5, в сентябре — 22,2 кг/га. Время оборота биомассы колебалось в пределах 2,6—8,6 суток, а скорость ее обновления от 0,4 до 9,5 кг/га в сутки [223]. Ведущий специалист в области почвенной альгологии Е.М. Панкратова приводит следующие данные по валовой продукции водорослей для почв умеренной зоны (табл. 37).

Органическое вещество, синтезированное водорослями, постепенно вовлекается в почвенные биохимические превращения. Поступление дополнительного количества органического материала имеет значение для всех типов почв, особенно малоплодородных, так как в конечном итоге способствует активизации почвообразовательного процесса [593, 595, 9].

*Таблица 37*

**Валовая продукция почвенных водорослей [423]**

Тип почвы	Продукция, кг/га сухого вещества за год
Пойменные	224,0—577,7
Дерново-подзолистые целинные	20,0—66,6
Дерново-подзолистые пахотные	113,3—240,0
Дерново-подзолистые эродированные	87,7—266,6

Почвенные водоросли оказывают благоприятное влияние на структуру почвы. Они склеивают ее частицы выделяемыми продуктами жиз-



недеятельности, а затем скрепляют их своими нитями. Длина нитей на 1 см<sup>2</sup> дерново-подзолистой почвы достигает 14—110 м. Поэтому почва, на поверхности которой имеются водоросли, меньше размывается поверхностным стоком и не разрушается каплями дождя [139].

Оптимальная реакция почвенного раствора для водорослей соответствует pH 5,0—6,0. Но отдельные виды хорошо развиваются и в кислых, и в щелочных почвах. Пороговая кислотность, при которой возможно массовое развитие цианобактерий, составляет pH—4,6. У водорослей, обитающих в кислых почвах, обнаружена способность подщелачивать среду, что связано с выделением клетками органических веществ щелочного характера [139]. Возможно, подобным свойством, наблюдаемым только в непосредственной близости от корней, в той или иной мере обладают и высшие растения. Если это так, то механизм такого явления у высших растений также должен быть связан с выделительной функцией корневой системы и жизнедеятельностью ризосферных организмов.

Значение водорослей в создании почвенного плодородия будет недооценено, если не учитывать их азотфиксирующую способность.

Предполагают, что около 50% всех сине-зеленых водорослей фиксируют атмосферный азот [139]. Размеры азотфиксации могут достигать 25—30 и более кг/га. Использование цианобактерий в качестве живого удобрения при выращивании риса позволяет уменьшить норму технического азота на 25 кг/га без снижения урожая [480]. Положительное влияние водорослей на урожай замечено и при выращивании других культур.

#### *4.2.4. Почвенные животные*

Очень важную роль в почвообразовании выполняют почвенные животные. К ним относят большое количество самых разнообразных по размерам и уровню организации живых существ. Все почвенные животные делятся на три группы: микро-, мезо- и макрофауну. В первую входят простейшие (одноклеточные организмы, их иногда объединяют в самостоятельную группу — нанофауну) и мелкие многоклеточные. Во вторую включают пауки, многоножки, насекомые, энхитреиды, мокрицы и моллюски. Третья представлена земляными червями, насекомоядными, грызунами и землероями. Размерность групп почвенных животных соответствует примерно следующим величинам: 0,02—1,28; 1,29—10,2 и более 10,3 мм [38]. Деление почвенных животных по размерам не носит чисто условного характера. Организмы, относящиеся к различным таксономическим группам, но имеющие одинаковые размеры, оказывают трудно различимое влияние на круговорот веществ в почве по причине схожести источников их питания и поведения.

Большинство почвенных животных имеют ряд особенностей. У них отсутствуют плотные поверхностные тканевые покровы. Очевидно, они утрачены в процессе эволюционного развития либо вообще не формировались, так как относительное постоянство влажности почвы позволяет поддержи-

вать на необходимом уровне содержание воды в клетках и без соответствующих морфологических приспособлений. Результатом длительного приспособления к обитанию в почве являются кожное дыхание и малые размеры. Все эти биологические особенности, создавая определенные преимущества для почвенных животных, обитающих в нетронутых почвах, превращаются в недостатки при их сельскохозяйственном освоении. Интенсивная обработка земель способствует их иссушению. При этом нарушаются водный и газовый режимы. Уплотнение почвы или распыление ее верхних горизонтов затрудняет миграцию почвенных организмов. Разрушение дернины приводит к повышению температуры почв. Изменение параметров внешней среды сильно отражается на жизнедеятельности всех почвенных животных, что обязательно необходимо учитывать в земледелии.

**М и к р о ф а у н а .** К этой группе относят микроскопические одноклеточные — жгутиконосцы, корненожки, амёбы и инфузории. Все они обитают в почвенных порах и капиллярах, заполненных водой, что дает основание рассматривать их как гидробионтов. Но в отличие от организмов такого же типа, живущих в водоемах, почвенные животные способны длительное время сохранять жизнеспособность при недостатке воды и низких температурах. В почвах России обнаружено около 600 видов простейших. В пахотных угодьях Московской области найдено 38 видов жгутиконосцев, 27 видов голых амёб, 54 вида раковинных амёб и 26 видов инфузорий [127, 126, 128]. В полевых почвах Венгрии обнаружено 28 видов жгутиковых, 43 вида амёб и 46 видов инфузорий. По сведениям советских ученых, в одном грамме почвы может быть до 15 тыс. раковинных корненожек и до 200 тыс. жгутиконосцев. Обследование земель на территории агробиостанции МГУ им. В. И. Ленина показало, что в окультуренной дерново-подзолистой почве живая масса жгутиконосцев составила 50, а инфузорий — более 200 кг/га. Общая же биомасса простейших достигает 300—400 кг/га [532]. Одноклеточные, так же, как и бактерии, способны очень быстро размножаться. В естественных условиях популяция простейших обновляется в почве за 1—3 дня и дает за один год 50—300 генераций [270]. Большинство почвенных простейших питается бактериями. Есть среди них и сапрофитные формы.

К микрофауне относят и мелкие многоклеточные (коловратки, тихоходки, нематоды, клещи и ногохвостки). Эти организмы обитают в пленках воды или в почвенных порах, заполненных влажным воздухом. Наиболее многочисленными и превосходящими остальных по биомассе являются нематоды. В почве под сельскохозяйственными культурами их насчитывается от 1 до 2,5 млн. особей на 1 м<sup>2</sup>. Численность других мелких многоклеточных значительно ниже. Например, в почвах, подвергнутых сельскохозяйственному использованию, на 1 м<sup>2</sup> встречается около 11 тыс. ногохвосток и 35 тыс. клещей. Суммарная биомасса ногохвосток и клещей невелика и составляет 10—20 кг/га [532].

Обстоятельные исследования популяций ногохвосток, обитающих в

почвах, были проведены в Польше. Всего было обнаружено 36 видов этих примитивных насекомых. В том числе 9 на посевах ржи и картофеля и более двух десятков под люцерной. Средняя численность ногохвосток в разные годы составляла под картофелем 7—14 тыс. экз./м<sup>2</sup>, рожью — 12—27, люцерной — 34—36, капустой — 32—51 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Средняя биомасса ногохвосток под люцерной (в сухом состоянии) составила 299, рожью — 171, картофелем — 128 мг/м<sup>2</sup>. Они обнаруживались как в верхних, так и в нижних горизонтах почвы. На глубине 71—150 см они присутствовали в количестве 2 тыс. экз./м<sup>2</sup> [628].

**Мезофауна.** Самыми многочисленными организмами среди мезофауны являются энхитреиды. Это мелкие кольчатые черви длиной 5—30 мм. Их численность под сельскохозяйственными культурами на 1 м<sup>2</sup> составляет от 2 до 10, а в луговых почвах — до 120 тыс. особей. Биомасса энхитреидов в благоприятных для размножения условиях может достигать 5 ц/га. Энхитреиды ведут подвижный образ жизни. Они передвигаются по проделываемым ходам или по естественным почвенным порам, что позволяет им проникать на относительно большую глубину. Питаются энхитреиды отмершими частями растений, но встречаются среди них и хищные виды, поедающие фитопаразитических нематод.

Многоножки являются представителями класса членистоногих. Их размеры колеблются от 1,5 до 2 мм у мелких видов и от 10 до 15 см у самых крупных. По зарубежным данным, общая численность многоножек в слое луговой почвы 1—15 см составляет 672, а в слое 15—20 см — 4873 экз./м<sup>2</sup>. Под однолетними сельскохозяйственными культурами они встречаются реже. По характеру питания многоножки сапрофаги и хищники [532].

Роль мокриц в пахотных почвах умеренного климата, по сравнению с другим представителями мезофауны, значительно скромнее, что обусловлено невысокой их численностью. Исключение составляют пустынные почвы и сероземы, где участие мокриц в почвообразовании более выражено. Их влияние на почвенные процессы проявляется в активном переносе органического материала и увеличении порозности почвы. Мокрицы, так же как и многоножки, способны переваривать клетчатку, попавшую в их организм с пищей. Это объясняется наличием в пищеварительном тракте почвенных животных микробных симбионтов или специфических ферментов, разрушающих полисахариды. Благодаря активному внутреннему метаболизму мокрицы усваивают до 45% съеденной пищи, в то время как многоножки только 25% [297]. Такая особенность накладывает определенные оттенки на почвенные процессы, так как при этом существенно меняется состав экскрементов, а следовательно, и пути трансформации органического вещества.

С почвой связана и жизнь большинства насекомых. У некоторых видов все жизненные циклы проходят в почве, другие находятся в ней в фазе личинки или куколки. Насекомые, обитающие на поверхности почвы, при неблагоприятных климатических условиях прячутся под ее комочками. Пред-

полагается, что у 95—98% насекомых жизненный цикл полностью или частично проходит в почве [133, 270, 617]. Заселенность насекомыми поверхности полей без учета личинок и куколок обычно достигает нескольких сотен экземпляров на 1 м<sup>2</sup> [617]. Наибольшая численность насекомых в почвах сельскохозяйственного использования наблюдается на лугах и посевах многолетних трав. На этих угодьях встречаются преимущественно саранчовые, цикадовые, клопы, трипсы и мухи [462].

Воздействие насекомых на почву частично проявляется через их способность к миграции. Характер и направление движения зависит от температуры и влажности среды обитания, наличия источников питания и многих других факторов. Изменение параметров любого из них вынуждает насекомых в поисках оптимальных условий совершать вертикальные и горизонтальные перемещения по профилю почвы или ее поверхности. Всевозможные норки и ходы, проделываемые ими (глубиной до 1 и более метров), улучшают проницаемость почвы для воздуха и воды.

Большинство насекомых погибает вдали от мест, где они отродились. Поэтому они переносят на значительные расстояния по поверхности земли органические и минеральные вещества. Часть насекомых погибает в почве во время зимовки. Их тела, находящиеся на разных глубинах, подвергнутые микробиологическому разложению, становятся очагами биохимических превращений. Среди насекомых имеются группы с самыми разнообразными типами питания. Это также накладывает определенный отпечаток на отдельные звенья почвообразовательного процесса, так как усложняются пути трансформации вещества и энергии.

**М а к р о ф а у н а .** В эту группу почвенных животных включаются земляные черви, насекомоядные, грызуны и землерои. Наиболее изученными организмами, с точки зрения их роли в почвообразовании, являются земляные черви. Они стали объектом пристального изучения почвоведов и зоологов после того, как Ч. Дарвин опубликовал в 1881 г. результаты своих исследований в работе под названием "Образование растительного слоя земли деятельностью дождевых червей и наблюдения над их образом жизни". С тех пор по этому вопросу появилось множество дополнительной информации, подтверждающей выводы великого ученого. Однако до сегодняшнего времени практиками агрономии, да и большинством научных работников, роль дождевых червей в повышении плодородия почв остается недооцененной.

В почвенных разностях нашей страны встречается около 100 видов дождевых червей, но широкое распространение имеют только 16 видов из семейства люмбрицид. Эти обитатели почвы чаще всего имеют размеры от 5 до 15 см. Длина отдельных видов превышает указанные величины в несколько раз. Продолжительность жизни дождевых червей в естественных условиях составляет 2—3 года. Основное место сосредоточения — гумусовый слой почвы. Очень часто они углубляются и в нижние горизонты. В литературных источниках имеются сведения, что дождевые черви проникают на глубину

4—5 и даже 8 м [38].

Численность дождевых червей в почве непостоянна и зависит от многих факторов. В малоплодородных почвах сельскохозяйственного использования с низким содержанием органического вещества и небольшим поступлением растительного спада количество дождевых червей измеряется десятками, а в хорошо окультуренных — сотнями экз./м<sup>2</sup>. При этом их биомасса составляет от 50 до 500 кг/га. В некоторых источниках указываются и более высокие величины [569]. Считается, что в культурных почвах численность дождевых червей должна быть не менее 1,0 млн. особей, а масса 0,5—0,6 т/га [319].

Дождевые черви выполняют целый ряд функций, поддерживающих почвообразовательный процесс. Одна из них заключается в поддержании аэрации почвы. Необходимость интенсивного "проветривания" земляной толщи вызвана тем, что в результате жизнедеятельности биоты, а также биохимических процессов, протекающих в почве, в нее поступают различные газы. О масштабах этого процесса можно судить по скорости насыщения почвы углекислым газом. Корневая система многолетних трав в течение суток продуцирует 615—920, зерновых культур 155—410, картофеля 163—230 кг/га CO<sub>2</sub>. То есть поступление двуокиси углерода в почву только за счет деятельности корневых систем растений сравнимо с ее содержанием в слое воздуха высотой 100 м, расположенного над полем площадью 1 га (500 кг/га). Примерно такое же ее количество ежесуточно усваивается посевами полевых культур в результате фотосинтеза (140—550) [326].

Почва, выделяя большие объемы различных газов, одновременно поглощает много кислорода. Без его поступления из атмосферы почвенного запаса хватило бы всего на 12—48 часов [191]. Значит, для того чтобы предотвратить избыточное накопление одних газов и недостаточное поступление кислорода, в почве должны активно протекать процессы обмена между почвенным воздухом и атмосферой. Роль дождевых червей в улучшении газового режима состоит в том, что они проделывают в почве колоссальное количество ходов. Они в полном смысле слова пронизывают ее во всех направлениях. Ходы дождевых червей очень долго не разрушаются. Их прочность создается за счет уплотнения стенок и цементирования поверхности слизистыми выделениями. Поэтому они не размываются даже после очень сильных дождей. Общая длина ходов под 1 м поверхности почвы достигает нескольких километров. Таким образом, дождевыми червями создается надежный дренаж, способствующий циркуляции воздуха в почве.

Почва, в которой имеется много ходов дождевых червей, является прекрасной средой обитания для почвенных животных, чьи размеры не позволяют свободно передвигаться по естественным межпоровым пространствам. К таким организмам можно отнести различные виды насекомых, многоножек и пауков.

Ходы дождевых червей используются и растениями. По ним корневая

система без труда проникает в нижние, более влажные, горизонты почвы. Следовательно, дождевые черви создают благоприятную среду обитания для определенных видов живых организмов. В этом состоит одно из проявлений их экологического значения.

Основным источником питания для дождевых червей служат растительные остатки и заглатываемая почва, содержащая органические вещества и различного рода микроорганизмы. За 24 часа дождевыми червями перерабатывается такое количество почвы, которое сравнимо с массой их тела. Остатки непереваренной пищи и заглатываемый грунт после прохождения через кишечник выбрасываются на поверхность почвы или в подземных ходах в виде копролитов — округлых комочков почвы диаметром 1—5 мм. На полях и лугах дождевыми червями ежегодно откладывается от 20 до 80 т/га копролитов. Их равномерное распределение по поверхности земли в количестве 40—50 т/га дает слой около 3 мм. Расчеты показывают, что дождевые черви за 300 лет своей деятельности на пастбище Ротамстедской опытной сельскохозяйственной станции сформировали на старой почве новый слой толщиной 10,5 см [569, 532]. На значительность подобного явления, происходящего в полевых условиях, обращал внимание еще Ч. Дарвин [569].

Заглатывание земли, а затем извержение ее в виде копролитов существенным образом изменяет среду обитания дождевых червей. Прежде всего это выражается в перемешивании почвы. Одна ее часть, попадая в организм червей, перемещается из верхних горизонтов в нижние, другая же половина, наоборот, переносится ими из глубины ближе к поверхности. Перемешивание почвы дождевыми червями наблюдали в лабораторных опытах. Прозрачный сосуд послойно заполнялся светлой и темноцветной почвой. В него запускалось несколько особей червей, и через 110 дней вся почва в сосуде оказывалась полностью перемешанной. Полагают, что весь гумусовый горизонт почвы, где обитают дождевые черви, полностью перемешивается за 100 лет. В естественных условиях такой процесс происходит и посредством выноса из верхних горизонтов частичек почвы водой, стекающей по ходам дождевых червей [568]. Эффект перемешивания почвы особое значение имеет при проведении поверхностных обработок. Они способствуют накоплению органического вещества в верхних горизонтах, а дождевые черви перемещают его в нижние, что, естественно, положительно влияет на рост растений [438].

Другой стороной жизнедеятельности дождевых червей является улучшение физических и химических свойств почвы. Это происходит за счет обогащения почвы водопрочными агрегатами, появляющимися после разрушения копролитов и стенок ходов дождевых червей. Образующиеся отдельно отличаются повышенной водостойкостью, долго не размываются и придают почве зернистую структуру. С указанной точки зрения интерес представляет и механическое разрушение в кишечнике червей минеральных частиц почвы, происходящее в процессе перетирания пищи [569]. После естественного отмирания червей в почву ежегодно попадает несколько десятков

килограммов на гектар доступного для растений азота. Его поступление с прижизненными выделениями также значительно (в естественных экосистемах до 33 кг/га) [297].

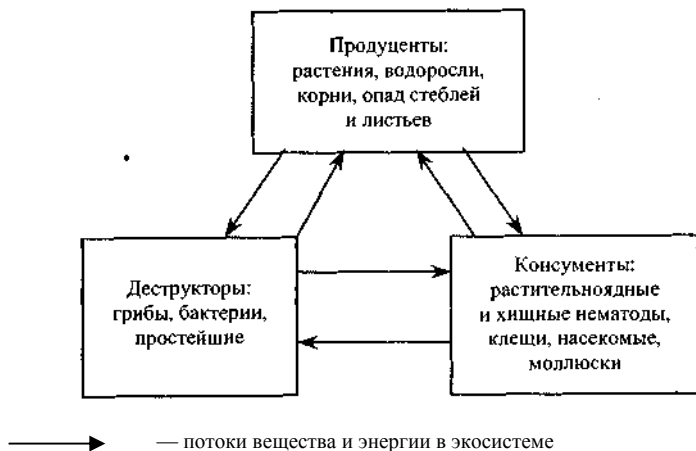
В результате затаскивания в норки растительного материала, откладывания копролитов, обогащения почвы органическими веществами, входящими в состав слизи, выделяемой поверхностными тканями и минеральными соединениями, содержащимися в экскрете (жидкие выделения), изменяются химические свойства почвы. Установлено, что копролиты червей, вследствие поступления в пищевую массу из особых железок кальция, всегда имеют более щелочную реакцию, чем окружающая почва.

Почвенные животные, ведя активный образ жизни, постоянно перемещаясь в различных направлениях, осуществляют перенос органического вещества. Многие из них регулярно совершают вертикальные миграции. В засушливый период они передвигаются в нижние горизонты, после дождей возвращаются ближе к поверхности. Некоторые виды почвенных животных имеют суточные миграционные циклы. Для быстрого перемещения используются межпоровые пространства, проходы, оставленные более крупными видами, или ходы, образующиеся после отмирания корневых систем растений.

Обрабатывая почву сельскохозяйственными орудиями, используя средства химизации, мы существенным образом меняем среду обитания почвенных животных. При уплотнении или распылении почвы затрудняется миграция, нарушаются газовый, водный и температурный режимы. Накопление в почве минеральных удобрений и пестицидов изменяет химические параметры среды, в которой обитают почвенные животные. Все они имеют очень большое значение либо для нескольких видов, а чаще для всей биоты. В конечном итоге любое непродуманное антропогенное вмешательство в почвенные экосистемы неблагоприятно отражается на всей биоте.

#### **4.3. Взаимоотношения почвенных организмов между собой и растениями**

В почве практически отсутствуют зоны, заселенные только бактериями, грибами или водорослями, и поэтому живые организмы, населяющие ее, существуют не сами по себе, а входят в состав биологических ассоциаций, точнее экосистем. Почвенные экосистемы по своим свойствам и функционированию почти не отличаются от обычных наземных и водных, привычных для нас. В них имеются все основные структурные компоненты, связанные между собой прямыми и обратными вещественными и энергетическими связями (рис. 4).



**Рис. 4. Блочная модель почвенной экосистемы**

Почвенные экосистемы имеют и специфические особенности. Почти все органическое вещество, образованное продуцентами, потребляется живыми организмами в виде корневых выделений, остатков и растительного опада. И небольшая его доля используется растительноядными нематодами, клещами, насекомыми, моллюсками и крупными почвенными животными. Другая особенность состоит в том, что многие почвенные организмы не имеют четкой специализации. Они могут быть и консументами и деструкторами. Так, в организм червей при заглатывании ими почвы попадают детрит, различные виды простейших, многоклеточные и водоросли. Отсутствие выраженной специализации по отношению к пищевому ресурсу характерно и для некоторых живых организмов в наземных экосистемах, но в меньшей степени.

Сосуществование организмов чаще всего благоприятно и для сообщества, и для отдельных его членов. Так, водоросли положительно влияют на жизнедеятельность бактерий и простейших. Обогащение цианобактериями почвы способствует росту численности и биомассы простейших в 1,5—2 раза, а таких их видов, как инфузории, — в 4—8 раз. При этом увеличивается и скорость репродукции простейших [322]. Водоросли стимулируют рост и обилие грибов. Последние, в свою очередь, находясь в комплексе с диазотрофами, усиливают их азотфиксирующую активность [354, 139]. Жизнедеятельность простейших в большой степени зависит от присутствия микроорганизмов, которые являются для них основным источником питания. Обычно вслед за всплеском численности бактерий резко увеличивается скорость размножения простейших. Поэтому в почве, даже при обилии источников питания, биомасса бактерий никогда не превышает определенного уров-



ня. Такие экосистемные механизмы регулирования численности работают и по отношению к другим представителям почвенного населения.

Известно несколько типов взаимодействий между организмами, входящими в экосистему. В современной экологии выделяют конкуренцию, нейтрализм, мутуализм, протокооперацию, хищничество, паразитизм, комменсализм и аменсализм. В приложении к почвенным экосистемам эти взаимодействия, за исключением самых тривиальных, практически не изучены. В основе простых лежат цепи питания и метаболические связи. Они проявляются через выделение в среду обитания каких-либо веществ, угнетающих или, наоборот, стимулирующих развитие отдельных членов биотического сообщества. Трофическая цепь педоценоза может иметь следующий вид: бактерии — простейшие — многоклеточные — почвенные животные; водоросли — простейшие — почвенные животные; продуценты — нематоды — насекомые — почвенные животные. Почвенные животные, выеда простейших, в то же время стимулируют их развитие, и поэтому могут рассматриваться как регулятор их численности. Аналогичные функции по отношению к бактериям и водорослям выполняют и простейшие [385, 127].

Приведенные примеры не являются обязательными для всех условий, так как присутствие в почве множества организмов, имеющих разные уровни организации, обуславливает разнообразие трофических связей. Так, почвенные грибы поедаются нематодами и насекомыми. Но отдельные виды грибов, являясь хищниками, способны питаться нематодами. В почве обитают и энтомофильные грибы, которые паразитируют на насекомых [247]. Участие почвенных организмов в формировании трофических связей на примере водорослей приведено на рис. 5.

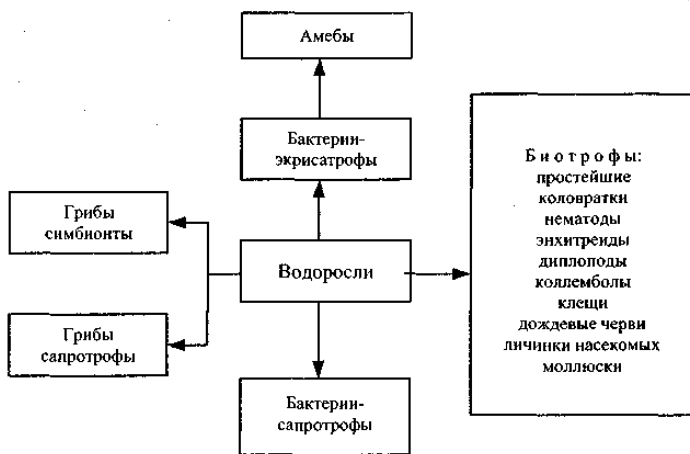


Рис. 5. Трофические связи водорослей в почве [592]

Как видно из приведенной схемы, водоросли находятся в центральной части. Другими словами, их участие в составе педоценоза имеет большое значение. С их исчезновением, например в результате применения гербицидов, он не разрушится. Однако в нем произойдут очень серьезные изменения.

Многовариантность пищевых цепей позволяет поддерживать энергомассообмен в почвенных экосистемах на определенном уровне и в относительной независимости от условий окружающей среды. Способность сообществ, в том числе почвенных, сохранять свою структуру и внутренние связи называется устойчивостью. Она зависит от видового разнообразия живых организмов. При его уменьшении устойчивость экосистем снижается. В результате они под сильным воздействием внешних факторов могут выходить из состояния динамического равновесия и переходить на более низкий организационный уровень. Для почв это означает снижение плодородия. Поэтому мы в обязательном порядке должны просчитывать возможные последствия вмешательства в агробиогеоценозы.

Очень сложно складываются взаимоотношения между почвенной микрофлорой и фитофагами. Их изучение нашло отражение в представлениях о зоомикробиотическом комплексе (ЗМК) [519]. Понятие о ЗМК складывалось на основе анализа взаимодействий микроорганизмов с насекомыми. При изучении переваримости пищи фитофагами было установлено, что у них очень невысокий коэффициент ее усвоения (примерно в 2—2,5 раза меньше, чем у позвоночных). Это является причиной поглощения ими значительного количества растительного материала и образования больших масс экскрементов, которые, как выяснилось, заселены микроорганизмами сильнее, чем источник питания. Оказывается, измельченный растительный материал, еще находясь в пищеварительном тракте насекомых, служит прекрасным субстратом для развития эпифитной и почвенной микрофлоры. Но, кроме того, в кишечнике беспозвоночных присутствуют специфические микроорганизмы. Кишечник многоножек-диплопод (кивсяков) заселен актиномицетами, среди которых доминируют представители рода *Streptomyces* и группы *Promicromnospora*—*Oerskovia*. Их роль состоит в ускорении процессов переваривания пищи. Актиномицеты, находящиеся в кишечнике многоножек, продуцируют гидролитические ферменты, участвующие в разрушении целлюлозы, являющейся основным компонентом органического вещества растительного происхождения [86]. Об активности микрофлоры, находящейся в организме почвенных беспозвоночных, можно судить по тому, что на ее долю приходится до 10% суммарной интенсивности дыхания животных [192].

Экскременты, откладываемые фитофагами, могут быть съедены капрофагами, а непереваренные фрагменты, содержащиеся в них, подвергаются новому воздействию микроорганизмов, постепенно теряя свою первоначальную структуру. В конечном итоге экскременты попадают в почву и активизируют в ней микробиологические процессы. Схема этого процесса приведе-

на на рис. 6. Таким образом, насекомые в качестве своеобразного ферментера принимают активное участие в разложении растительных остатков. Не случайно присутствие беспозвоночных ускоряет деструкцию растительных остатков более чем в 2 раза [133]. Подобное кооперирование растений, микроорганизмов и беспозвоночных животных явилось следствием их коэволюции и обеспечивает не только потребление ресурса, но и ускоряет его возобновление [519]. По нашему мнению, представления о ЗМК являют собой высокий уровень осмысления процессов, происходящих в биогеоценозах, и, очевидно, обобщать наши знания о функционировании экосистем необходимо на уровне отдельных блоков.

Интересным проявлением экологического взаимодействия является адсорбция микроорганизмов на кожных покровах почвенных животных. Таким образом, обитатели почв, активно передвигаясь во всех направлениях, способствуют распространению микроорганизмов, перенося их на поверхности своих тел [158].



**Рис. 6. Схема трансформации органического вещества в желудочно-кишечном тракте насекомого**

Достаточно неожиданно и поучительно, в плане наглядной демонстрации сложности связей в биологических системах, трактует взаимодействие между отдельными членами педоценоза Л.С. Козловская [254]. По ее мнению, организмы, находящиеся на более высоком уровне трофических цепей, оказывают селектирующее влияние на поедаемых особей. Обоснованность такого утверждения в отношении наземных экосистем давно уже не вызывает сомнений. Однако в приложении к почвенным сообществам оно звучит несколько необычно. Но в его справедливости и для этого случая легко убедиться. Оказывается, отдельные виды микроорганизмов, и в частности водоросли, поедаемые почвенными животными, не перевариваются в их организме и выбрасываются с экскрементами. Находясь в этой среде, они используют легко доступные питательные вещества, содержащиеся в ней, и поэтому очень быстро развиваются. Так происходит селекция и размножение отселектированных особей.

В почвенных экосистемах устойчивые связи возникают и между живыми организмами, которые не отличаются друг от друга по уровню биологической организации и по функциональному положению в сообществе. Это следует из результатов экспериментов с чистыми и смешанными культурами diaзотрофных бактерий. При наблюдении за развитием бактерий было установлено, что их азотфиксирующие свойства в чистых культурах в 10—25 раз ниже, чем в смешанных. Кроме того, развитие diaзотрофов в бактериальных ассоциациях существенно продлевало период их активной жизнедеятельности [134].

Взаимоотношения населения почвы с растениями строятся не только на основе использования продуцентов в качестве источника питания. Бактерии, водоросли, грибы и почвенные животные через поверхностные покровы или с экскрементами (по расчетам специалистов, годовой объем экскрементов только ногохвосток достигает 3,5 т/га) выделяют в почву биологически активные соединения (гетероауксин и его аналоги, антибиотики, витамины, аминокислоты). Определенная роль в обогащении почвы витаминами отводится дождевым червям (табл. 38).

*Таблица 38*

**Влияние дождевых червей на количество витамина В<sub>12</sub> в почве, мг/кг [31]**

Вариант	Годы		
	1974	1975	1976
Контроль	1,14	10,6	0,90
Контроль + черви	1,17	12,1	1,60

Наблюдение за 150 культурами почвенных микроорганизмов показало, что 77% из них способны образовывать гетероауксин. Согласно расчетам, проведенным М.Н. Мейсель, почвенная микрофлора в течение года на одном гектаре способна синтезировать до 400 г тиамин, 30 г пиродоксин и 1000 г никотиновой кислоты [108, 466, 385, 267]. Так как заселенность ризосферы микрофлорой выше, чем окружающей почвы, то концентрация биологически активных веществ у поверхности корней такова, что они поглощаются растениями в количествах, оказывающих существенное влияние на их жизнедеятельность. Это подтверждается рядом исследований [16, 129]. Е.Н. Ратнер, известный своими работами по корневому питанию, относил витамины, усваиваемые растениями из почвы, к одному из резервов повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур [466]. По-видимому, растения испытывают дополнительную потребность в биологически активных соединениях, находясь в стрессовых условиях или в ситуациях, когда их ответ-

ная физиологическая реакция на изменения в окружающей среде запаздывает. Почвенные же витамины, гетероауксины, аминокислоты и другие соединения компенсируют возникающий дисбаланс в метаболизме растений.

Предположения о возможном влиянии почвенных витаминов на растения находят экспериментальное подтверждение. Так, замачивание семян люпина перед посевом в растворе пиридоксина, пантотеновой кислоты и тиамина увеличивало сухую массу проростков, соответственно, на 74,9, 71,6 и 25,1% по сравнению с контролем [68].

Микроорганизмы при соответствующих условиях могут оказывать и отрицательное воздействие на растения. Некоторые из них выделяют в почву фитотоксические вещества. Например, культура *Bacillus cereus* угнетает рост и развитие овса. Она удлиняет срок прорастания семян, на 46% снижает их всхожесть, замедляет рост. В конце эксперимента вес сухой массы растений оказался в 10,2 раза меньше, чем в контрольном варианте [64]. Активизация нежелательной микрофлоры является следствием нарушений, возникающих в почвенных экосистемах.

Определенная роль в формировании взаимоотношений между членами педоценоза отводится и растениям. Она достаточно хорошо прослеживается не только после их гибели, когда в почву попадают разнообразные органические соединения, но и в период роста. Ранее, в разделе 4.2.1, мы уже частично касались рассматриваемого вопроса в плане практического использования азотфиксации. В этой части будет рассмотрен другой его аспект.

При изучении функции корневых систем было выявлено, что эти органы растений постоянно выделяют в окружающую среду органические соединения. Среди них обнаружены аминокислоты, сахара, органические кислоты и витамины. Выделение отдельных веществ начинается уже с фазы прорастания семян и продолжается на протяжении всего периода вегетации [60, 482, 484]. Результаты изучения выделительной функции зародышевых корешков приведены в табл. 39.

Таблица 39

**Содержание общего углерода в корневых выделениях прорастающих семян, мг/1000 семян [60]**

Длительность проращивания, часы	Культуры			
	пшеница	кукуруза	люпин	горох
24	23,6	68,9	272,2	408,2
48	30,2	90,1	255,5	263,2
72	65,7	84,0	169,9	292,3

Общий объем соединений, выделяемых корневой системой, если его сравнивать с массой надземной части растений, представляет очень большую величину и равен примерно 700 м<sup>3</sup>/га у озимой пшеницы, 175—300 м<sup>3</sup>/га —

у ячменя и 1250 м<sup>3</sup>/га — у кукурузы. В переводе на сухое вещество это соответствует 70, 17—30 и 125 ц/га [484].

Продуцируемые корневой системой выделения служат легкоусвояемым источником питания для ризосферных микроорганизмов. Именно поэтому их численность в ризосфере в сотни раз выше, чем в почве. В большей степени это характерно для бактерий и в меньшей для грибов. Интенсивная жизнедеятельность микроорганизмов в гистосфере и ризоплане, кроме улучшения снабжения растений фиксированным азотом, биологически активными веществами препятствует появлению почвоутомления и положительно влияет на усвоение элементов минерального питания, так как усиливает ионный обмен между корневой системой и почвой [110].

Некоторые ризосферные микроорганизмы обладают свойством поавлять развитие почвенных фитотоксичных грибов. В опытах с ассоциативными диазотрофами рода *Azospirillum* было обнаружено, что они обладают выраженной фунгистатической активностью. При проращивании семян яровой пшеницы, на которых отсутствовали эпифитные азоспириллы, проростки сильно поражались грибами. При наличии на семенах азоспирилл их развитие подавлялось [468].

Микроорганизмы, находящиеся в симбиотических отношениях с растениями, повышают их иммунные свойства. Причины этого явления до настоящего времени полностью не ясны. Очевидно, это связано с поступлением в растения специфических веществ, которые запускают соответствующие биохимические процессы, препятствующие развитию и размножению болезнетворных организмов. Чаще всего повышение иммунитета наблюдали при микоризации корневых систем. Так, эндотрофная микориза защищает растения от внедрения грибных и нематодных вредителей [125].

Наряду с корневыми выделениями микроорганизмы используют в качестве источника питания слущивающиеся клетки корневых чехликов, отмирающие корневые волоски. Интенсивное размножение на поверхности корней бактерий создает предпосылки для быстрого развития всего комплекса почвенных животных, так как корневая микрофлора служит для них пищевым ресурсом. В результате биогенизации корневой системы в ризосфере увеличивается содержание доступных для растений минеральных соединений (табл. 40).

Таблица 40

**Содержание доступных растениям минеральных соединений  
в зоне корня и в почве, мг на 100 г сухой почвы [610]**

Культуры	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
	вне корней	в ризосфере	вне корней	в ризосфере

Ячмень	18,6	22,5	9,3	12,8
Озимая пшеница	37,2	43,2	6,6	27,9
Овес	31,5	34,5	10,7	34,4
Клевер	16,2	21,9	6,4	8,2

Выделительная функция у корней зависит от многих факторов окружающей среды. Но самое примечательное то, что ее могут стимулировать микроорганизмы ризосферы [202, 203]. Это наталкивает на мысль о существовании очень тесной связи между растениями и микроорганизмами, выходящей за рамки простого взаимодействия. По аналогии с ЗМК их можно рассматривать как единую систему, состоящую из двух блоков, между которыми имеется постоянно действующая двусторонняя связь, позволяющая каждому из них в той или иной мере регулировать функции другого. Иначе говоря, выделительную функцию корневой системы растений и клеток микроорганизмов, посредством которой осуществляется обмен информацией, следует рассматривать как одно из эволюционных приобретений, позволяющее им в меньшей степени зависеть от условий окружающей среды.

Ю.М. Возняковская на основе анализа многочисленных данных пришла к выводу, что роль почвенной микрофлоры в жизни растений состоит в следующем [108].

1. Превращение нерастворимых соединений азота и фосфора в формы, доступные для питания растений.

2. Потребление и разрушение корневых выделений вегетирующих растений, что положительно влияет на процесс корневого питания.

3. Аккумуляция в микробных клетках питательных веществ, что, с одной стороны, предохраняет эти вещества от вымывания из почвы, а с другой — приводит к временному переводу растворимых веществ в недоступные для питания растений соединения.

4. Передвижение питательных веществ по гифам грибов и по цепочкам бактериальных клеток из почвы к корню.

5. Связывание газообразного азота атмосферы и улучшение за счет этого питания растений.

6. Синтез различных стимулирующих веществ (витаминов, ауксинов, гибберелинов и пр.) и накопление их в зоне ризосферы, что имеет большое значение для активирования биохимических процессов в растениях.

7. Тесный симбиоз с растениями.

8. Выделение различных антибиотических веществ, которые защищают растения от паразитарных форм.

9. Конкуренция с растениями за питательные вещества в том случае, когда имеется их недостаток в почве.

10. Восстановление нитратов до газообразного азота, приводящее к потере его из почвы.

11. Накопление вредных продуктов обмена, вызывающих различные

виды токсичности почв.

## 12. Паразитизм фитопатогенных видов на растениях.

По мнению Ф.Ю. Гельцер, появление все новых и новых фактов о роли микроорганизмов в жизни растений ломает наши представления об их автономности. На основании своих исследований она пришла к выводу, что в основе нормальной жизнедеятельности растений лежит симбиотрофное существование с микроорганизмами [125]. Этот вывод является чрезвычайно важным. Он по своей сути носит методологический характер, что позволяет нам использовать его в качестве критерия для оценки предлагаемых путей повышения урожайности сельскохозяйственных культур в настоящее время и на далекую перспективу.

В этой главе мы попытались дать общие представления о населении почвы и его роли в почвообразовательном процессе. Следует отметить, что мир живых существ почв необычайно богат и разнообразен. Но так как он скрыт от наших глаз, мы имеем весьма скудные сведения как в целом о нем, так и о его отдельных обитателях. Вместе с тем, и та информация, которой мы располагаем, достаточно убедительно показывает, как велико значение живых организмов в формировании почв. Они участвуют в измельчении, разложении и трансформации растительного, животного и минерального материала. Способствуют переносу разнообразных веществ по поверхности и профилю почвы. Их жизнедеятельность — дыхание, питание, размножение, расселение, смерть и разложение — отражается на физико-химических свойствах почвы и особенностях почвообразовательного процесса. Вся эта колоссальная работа ежесекундно осуществляется миллиардами невидимых существ. Непосредственно через ткани живой материи, населяющей почву, проходит та цепочка последовательных превращений вещества и энергии, которая заканчивается образованием гумуса, являющегося основой плодородия почвы.

Почвенная биота играет очень большую роль в жизни растений. Их эволюция происходила в непосредственном контакте. Поэтому и растения и многочисленные почвенные животные приспособлялись друг к другу на протяжении миллионов лет. В результате этого длительного процесса сформировались динамически устойчивые экосистемы. Возрастающая антропогенная нагрузка создает реальную угрозу быстрой деформации всех параметров почвы и ухудшения среды обитания живой материи. Для почвенных экосистем, аграрной отрасли и всей биосферы это может иметь катастрофические последствия. Поэтому мы должны хорошо представлять, как влияют агротехнические приемы, используемые в современном земледелии, на компоненты почвенных экосистем. Этому и будет посвящена следующая глава.



## **Глава 5. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПЕСТИЦИДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ**

Исследования, проведенные в последние годы, показывают, что отдельные агротехнические приемы, применяемые в современной земледелии, вызывают серьезные изменения в педоценозах. К наиболее сильным антропогенным раздражителям почвенной биоты относятся минеральные удобрения и пестициды. При постоянном использовании они превращаются в дополнительный экологический фактор. Действие этого фактора через изменение характера жизнедеятельности и взаимоотношений живых организмов проявляется на всех уровнях агроэкосистем. Минеральные удобрения и пестициды, оказывая воздействие на сообщество, нарушают структуру педоценозов, что влечет за собой деформацию общей схемы биохимических превращений и изменение направлений почвообразовательного процесса. Поэтому изучение реакции отдельных компонентов педоценозов на внесение удобрений и пестицидов имеет большое научное и практическое значение.

### **5.1. Минеральные удобрения как фактор, регулирующий жизнедеятельность почвенной биоты**

Внесенные в почву минеральные удобрения в первую очередь оказывают влияние на микрофлору. В опытах, заложенных еще Д.Н. Прянишниковым, длительное применение минеральных удобрений (в течение 50 лет) вызывало уменьшение численности микроорганизмов в 1 г почвы с 6559 до 5889 тыс. Аналогичные данные при 12—15-летнем внесении азота, фосфора и калия получены на Соликамской опытной станции и в других учреждениях [530]. Приведенные примеры свидетельствуют о способности минеральных удобрений оказывать прямое отрицательное влияние на заселенность почв микроорганизмами. Оно особенно заметно при использовании высоких доз, действие которых обнаруживается даже при однократном применении. При однократном внесении низких и умеренных количеств отрицательного влияния минеральных удобрений на микрофлору не обнаруживается. Однако оно проявляется после длительного применения. Так, разовое внесение удобрений в дозе 1000 кг/га вызывает такой же эффект, как и систематическое по 100 кг/га на протяжении 30 лет [157]. Неблагоприятное влияние минеральных удобрений на микроорганизмы, как правило, объясняется происходящим подкислением среды.

Вместе с тем, очень часто внесение азота, фосфора и калия стимулирует развитие микрофлоры, и ее численность в почве повышается (табл. 41).

Таблица 41

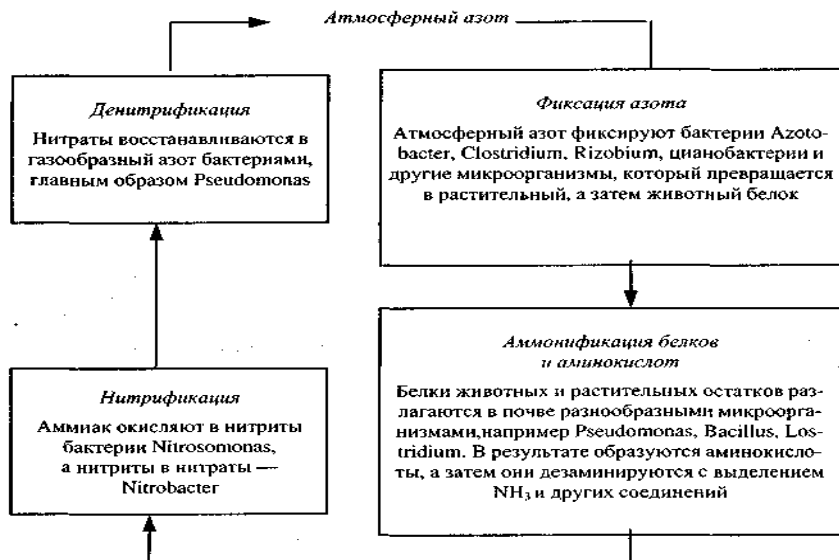
**Изменение количества микроорганизмов в оподзоленном черноземе  
при внесении минеральных удобрений, тыс. на 1 г [560]**

Вариант	Бактерии, растущие на МПА	Бактерии, растущие на ККА	Фосфор- минерали- зующие	Денитри- фикаторы	Аммони- фикаторы
Без удобрений	1125	150	307	125	375
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	5120	256	507	185	2980
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>	10 320	232	982	576	2902
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	5040	250	453	283	2835

Анализ приведенного материала (табл. 15) показывает, что в зависимости от вида микроорганизмов их численность на фоне минимальной дозы удобрений увеличивается от 1,5 до 7,9 раза. Однако наблюдаемый рост количества бактерий в почве после внесения минеральных удобрений нельзя расценивать только с положительной стороны. Применение минеральных удобрений способствует преобразованию состава микроценоза. Более того, происходит существенная его перестройка [471]. Преимущественное развитие получают отдельные виды микроорганизмов, что неблагоприятно отражается на всем микроценозе. Последствия изменения структуры микроценоза можно проследить на примере почвенного азотного цикла (рис. 7).

Основные этапы превращений этого элемента состоят в фиксации, аммонификации, нитрификации и денитрификации. При относительной их самостоятельности они осуществляются в определенном порядке и с участием специфических групп микроорганизмов. В нитрификации участвуют бактерии *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, а в денитрификации — *Pseudomonas*. Следовательно, если под влиянием каких-либо причин в почве произойдет одностороннее увеличение численности одной из групп микроорганизмов, то это закономерно приведет к активизации соответствующих процессов и разбалансировке почвенных превращений. Так, при систематическом внесении азотных удобрений в почве активизируются денитрификаторы. Активизация этих бактерий является главной причиной образования подвижных соединений азота и вымывания их в водные объекты. По этой же причине ускоряется образование газообразных соединений азота, которые загрязняют атмосферу.

Одним из проявлений отрицательного воздействия минеральных удобрений через изменение структуры микроценоза является нарушение метабиоза. Под метабиозом понимают возникновение трофических связей между бактериями [191]. Он формируется тогда, когда одна группа микроорганизмов развивается после другой и использует отходы ее жизнедеятельности. Процесс нитрификации представляет собой один из примеров метабиоза.



**Рис. 7. Цикл превращений азота в почве и участие в этом процессе различных групп микроорганизмов [360]**

При длительном систематическом использовании азота очень сильно увеличивается численность бактерий, способных усваивать его минеральные формы. Но при этом в малоактивное состояние переходят другие. В результате этих изменений коренным образом меняются целлюлозолитические, нитрифицирующие, денитрифицирующие и другие свойства почв [110].

Одним из проявлений отрицательного влияния на структуру микроценоза является ухудшение фитосанитарного состояния почв. Например, распространение корневых гнилей злаковых культур связывают с применением высоких доз технического азота [338]. Это происходит в результате усиленного развития микроорганизмов, как правило, грибов, вызывающих болезни растений или угнетающих их рост. Среди комплекса грибов-микромитетов активизируются токсинообразующие популяции, численность которых в естественных условиях контролируется другими членами почвенного сообщества. Вероятность поражения патогенными грибами сельскохозяйственных растений достаточно велика, так как среди почвенных грибов примерно 24% относятся к потенциально фитотоксичным видам. Чаще всего ухудшение фитосанитарной обстановки после использования минеральных удобрений наблюдается в дерново-подзолистых почвах [354]. Для них характерно развитие плесневых токсинообразующих грибов из рода *Penicillium*. Внесение из-

вести для предотвращения ухудшения фитосанитарного состояния агрофитоценозов не всегда приносит положительные результаты, а иногда приводит к увеличению зараженности почвы возбудителями корневых гнилей [174].

К негативным последствиям применения азотных удобрений следует отнести снижение азотфиксирующей способности почв. Это справедливо как в отношении симбиотической, так и ассоциативной азотфиксации. По сведениям зарубежных ученых, принимавших участие в XI Генеральном собрании Европейской федерации по луговодству (1986 г.), применение даже 30 кг/га азота снижало симбиотическую фиксацию на 44—87 кг/га. Данной проблеме уделяется внимание и в нашей стране [576]. В большинстве опытов азотные удобрения, особенно в высоких дозах, ингибировали процесс азотфиксации (табл. 42).

Таблица 42

**Влияние минеральных удобрений  
на потенциальную азотфиксирующую способность  
дерново-подзолистой почвы, мкг N<sub>2</sub>/10 г почвы за сутки [235]**

Вариант	Уровни плодородия					
	низкий		средний		высокий	
	8.VI	15.IX	8.VI	15.IX	8.VI	15.IX
Контроль	3,75	3,78	3,12	6,20	5,09	15,90
N <sub>90</sub> P <sub>75</sub> K <sub>120</sub>	0,89	0,77	0,77	6,66	5,11	13,14
N <sub>150</sub> P <sub>125</sub> K <sub>200</sub>	0,86	0,53	0,53	0,81	3,61	12,43

Анализ табличных данных показывает, что внесение удобрений на почвах низкого и среднего плодородия существенно снижало азотфиксацию весной. На почвах высокого плодородия заметное угнетение проявлялось только в конце срока наблюдений. Учитывая постепенный характер изменения интенсивности азотфиксации, думается, что на протяжении 1/3 всего периода наблюдения она была ниже уровня контроля. Исследователь, результаты которого приведены выше, да и многие специалисты, обнаруживавшие в своих исследованиях кратковременное подавление азотфиксации, считают, что подобная непродолжительная депрессия не может существенно отразиться на азотном балансе почвы. Однако если принимать во внимание многолетнее использование удобрений, то даже кратковременное ежегодное снижение азотфиксирующей способности по истечении определенного срока может иметь отрицательные последствия для почвенного плодородия.

Существенное снижение продуктивности ассоциативной азотфиксации при внесении азота в дозе более 20 кг/га наблюдал в своих исследованиях В.В. Волкогон (табл. 43). Им сделан вывод, что небольшие дозы азота следует рассматривать как фактор, "запускающий" азотфиксирующую систему

"высшие растения — азотфиксирующие микроорганизмы".

Таблица 43

**Продуктивность азотфиксации под травосмесью  
(райграс пастбищный + костреч безостый) в зависимости  
от количества внесенного в почву минерального азота**

Доза азота, кг/га	Продуктивность азотфиксации, кг/га за 150 сут
0	9,19
10	17,07
20	34,69
40	22,51
80	17,97
120	10,44
160	7,34
200	5,81
240	5,51
280	5,87

В других исследованиях устойчивое снижение интенсивности ассоциативной азотфиксации отмечено при внесении технического азота в дозе 60 и более кг/га. Меньшие количества удобрений не вызывали выраженного отрицательного эффекта [40]. Но эти результаты нельзя считать окончательными, так как они получены в опытах с однократным использованием удобрений. Обоснованность такого предположения подтверждают данные других экспериментов. Так, разовое внесение азота в дозе 40—60 кг/га стимулировало размножение азотфиксирующих водорослей. В то же время длительное внесение азотных удобрений в количестве 60 кг/га (в течение 12 лет) привело к сокращению их численности по сравнению с неудобренным вариантом с 254 до 94,5 тыс. клеток [422].

Пока не существует общепринятой гипотезы, почему снижается азотфиксирующая способность почв при внесении удобрений. Можно только констатировать, что по неизвестным причинам почвенные экосистемы чрезвычайно "боятся" избыточного минерального азота [191]. При его появлении срабатывают микробиологические механизмы, приводящие систему в исходное состояние. Излишний азот достаточно эффективно удаляется процессами нитрификации, денитрификации, иммобилизации или прекращением азотфиксации. Любопытно, что микроорганизмы-азотфиксаторы при появления избыточного азота превращаются в денитрификаторов [191]. По мнению некоторых исследователей, усиление роста растений также следует рассматривать как проявление защитной реакции почв [580].

Суть одного из объяснений изложенных фактов заключается в том, что

внесением удобрений мы нарушаем сложившиеся связи между растениями и микроорганизмами. Растения "теряют" заинтересованность в мутуалистических взаимоотношениях с азотфиксаторами, так как начинают использовать технический азот. Выделительная функция корневой системы, как способ обеспечения энергетическим материалом азотфиксаторов, в этом случае утрачивает свое значение, и поэтому объем экс-судированных веществ сокращается. Образующийся дефицит органических соединений, используемых ассоциативными диазототрофами и клубеньковыми бактериями, ограничивает их азотфиксирующую активность, и они, так же как и растения, изменяют свой метаболизм и начинают усваивать азот почвы или удобрений.

Уменьшение выделения корневой системой органических соединений, а их общий объем в нормальных условиях составляет около половины массы надземной части [484], не может не отразиться и на процессах, происходящих в растениях. Это выводит их обмен веществ из динамически равновесного состояния. В клетках начинают накапливаться продукты фотосинтеза, которые ранее расходовались на образование корневых экссудатов. В физиологии растений давно известно, что удаление аттрагирующих центров (плодов, колосьев, клубней и т. д.) ведет к блокированию процессов фотосинтеза из-за накопления в активных зонах его продуктов. Например, по сведениям А.Т. Мокроносова, увеличение содержания крахмала в листьях сои с 0,5 до 3,0 г/см<sup>2</sup> снижало интенсивность фотосинтеза в два раза. Очевидно, аналогичные процессы происходят и тогда, когда уменьшается объем корневых экссудатов при внесении минеральных удобрений. Исследователи, изучавшие процесс фотосинтеза, неоднократно обращали внимание на то, что его эффективность при выращивании сельскохозяйственных культур на удобренных фонах снижается. В опытах, проведенных с различными сортами подсолнечника, чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) при внесении минеральных удобрений снижалась с 7,2—8,3 до 6,0—6,5 г/м<sup>2</sup> в сутки [563]. Аналогичные результаты были получены и в наших опытах с кормовыми корнеплодами (табл. 44). Они полностью согласуются с выводами И.С. Шатилова с соавторами [582].

Таблица 44

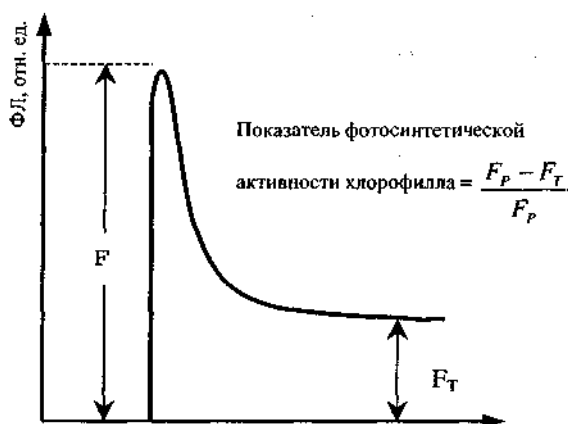
**Влияние доз удобрений на ЧПФ кормовых корнеплодов, г/м<sup>2</sup> сутки**

Дозы удобрений	Свекла	Брюква	Турнепс
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,7	3,4	3,8
N <sub>240</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	4,0	3,0	2,9

Цифровые данные таблицы свидетельствуют, что применение высоких доз минеральных удобрений снижает ЧПФ кормовых корнеплодов на 12—24%. Однако показатель ЧПФ в большей мере отражает не активность первичных процессов фотосинтеза, а эффективность работы в целом листового

аппарата. Поэтому в дальнейшем нами в целях изучения влияния минеральных удобрений на течение первичных процессов фотосинтеза на базе Ботанического сада Института леса Уральского отделения РАН проведены дополнительные исследования с использованием флюориметра КГМ-5М. Этот прибор позволяет регистрировать флюоресценцию (ФЛ) фотосинтетического аппарата. Регистрация индукционных кривых флюоресценции хлорофилла (ХЛ) нередко позволяет установить воздействие какого-либо фактора на фотосинтетические характеристики растений. Исследованию подвергались листья овса сорта "Урал". Растения выращивались в вегетационных сосудах объемом 1,5 л. В результате этих исследований были получены индукционные кривые быстрой флюоресценции хлорофилла (рис. 8).

Индукционные кривые анализировались на предмет определения показателя фотосинтетической активности хлорофилла. Его значения представлены в табл. 45. Данные опыта показывают, что минеральные удобрения не повлияли на характеристики фотосинтетического аппарата. Обсуждение установленного факта будет проведено ниже.



**Рис. 8. Вид индукционной кривой быстрой флюоресценции (ФЛ) хлорофилла (ХЛ)**

Использование минеральных удобрений оказывает отрицательное влияние и на инфицированность растений микоризообразующими грибами. В опытах Горьковского СХИ внесение  $N_{60}$  на фоне  $P_{90}K_{60}$  уменьшало степень микоризации корневой системы яровой пшеницы со 100 до 60%. В исследованиях, проведенных в Дании, эффективность инокуляции гороха везикулярно-арбускулярной микоризой (ВАМ) составила 21,9% в контроле (без удобрений) и 17,1% в варианте с дозой фосфора 60 кг/га [41]. При изучении мико-

трофности корней кукурузы, выращиваемой на черноземе обыкновенном, внесение удобрений в низких и средних дозах по плоскорезной обработке снижало частоту встречаемости микоризной инфекции с 54,6 до 25,3 — 26,8 %. Заметно сокращалось и количество спор эндомикоризных грибов, обнаруживаемых в почве [175].

Таблица 45

Влияние удобрений на показатель фотосинтетической активности хлорофилла, ФЛ ХЛ, отн. ед.

Вариант	Номер листа		
	5-й лист	6-й лист	7-й лист
Без удобрений	0,84	0,82	0,82
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,84	0,80	0,82
N <sub>240</sub> P <sub>240</sub> K <sub>240</sub>	0,82	0,81	0,81

Почвенные водоросли также реагируют на внесение минеральных удобрений. Угнетение их развития наблюдается даже при низких дозах азота. При изучении почвенной альгофлоры в 12-летнем стационаре были получены следующие результаты. Численность водорослей в варианте без удобрений составила 254,0 тыс. клеток на 1 см<sup>2</sup> поверхности почвы. При внесении P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> — 629,0, N<sub>60</sub> P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> — 94,5, N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> — 57,5 тыс. клеток на 1 см<sup>2</sup>. На фоне N<sub>180</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> цианобактерии с поверхности почвы вообще исчезли [424].

Испытывают на себе влияние минеральных удобрений и все группы почвенных животных. Однократное внесение двойного суперфосфата вызывало сильную депрессию численности ногохвосток, гамазовых, акароидных, тарсонемонидных и панцирных клещей. Отрицательно реагировали на полное минеральное удобрение в дозе N<sub>60</sub>P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> ногохвостки и энхитреиды [253, 28]. Ежегодное в течение 15 лет внесение на овсянищевом лугу N<sub>48-57</sub>P<sub>42-49</sub>K<sub>49-60</sub> приводило к уменьшению общей численности нематод в 1,9—4,5 раза, тогда как количество фитопаразитических нематод увеличивалось в 1,7 раза. Возрастало, но в меньшей степени, участие фитопаразитических нематод в полевых почвенных ценозах под воздействием минеральных удобрений и в наблюдениях, проведенных в ТСХА [320].

При использовании удобрений может иметь место и изменение видового состава круглых червей. В среднем за годы исследований в дерновине бобово-разнотравного луга без внесения удобрений их было 33, а на удобренном фоне только 27 видов [512].

Как уже отмечалось, одной из причин, объясняющих, почему минеральные удобрения неблагоприятно влияют на почвенные живые организмы, является происходящее подкисление среды. Так как шкала pH логарифмическая, ее сдвиг на одну единицу соответствует изменению кислотности в 10



раз. Следовательно, даже незначительное изменение кислотности почвы существенным образом нарушает среду обитания почвенных животных.

Изменение биохимического состава растений, происходящее в результате применения минеральных удобрений, оказывает воздействие на темпы развития, смертность и другие показатели жизнедеятельности фитофагов. В опытах с капустной белянкой было установлено, что в зимнее время в первую очередь погибают те куколки, гусеницы которых кормились растениями, выращенными при использовании удобрений. Аналогичная реакция на изменение биохимического состава источника питания может наблюдаться и у полезной энтомофауны [317, 42, 3]. На удобренных вариантах изменяется численность фитофагов. На зерновых культурах увеличивается количество клещей, пустоцветного и ржаного трипсов в два с лишним раза (при внесении азотных туков), повышается плодовитость тлей [172, 428].

Внесение в почву невыработанного торфяника азотных, фосфорных и калийных удобрений уменьшало общее количество насекомых со 111,6 до 26,0—76,6 особей/м<sup>2</sup>. Снижалась со 158,5 до 40,5—105,5 особей/м<sup>2</sup> и численность беспозвоночных. Кроме этого, установлено, что минеральные удобрения способствуют увеличению среди обитающих в почве орибатид доли неполовозрелых пауков [29].

В качестве одного из критериев степени биогенности почвы используется ее ферментативная активность. Она формируется благодаря жизнедеятельности всей почвенной биоты и частично каталитическим свойствам органического вещества. Основным источником поступления в почву ферментов являются растительные остатки, тела погибших почвенных животных и их экскременты. Заметный вклад в обогащение почвы энзимами вносят и микроорганизмы. Они постоянно выделяют во внешнюю среду разнообразные ферменты, которые участвуют в разложении органического вещества, а образовавшиеся при этом простые соединения усваиваются микробной клеткой. Так, хитиназы, обнаруживаемые в почве, попадают туда в результате интенсивного продуцирования их актиномицетами заселяющих панцирные покровы погибших насекомых.

Ферменты, попадающие в почву, адсорбируются глинистыми минералами и в таком состоянии длительное время сохраняют свои свойства. С участием почвенных энзимов протекает большинство биохимических реакций синтеза и разрушения минеральных и органических веществ. На сегодняшний день в почве обнаружено около 100 различных ферментов. Каждому типу почв соответствует определенный их набор, который следует рассматривать как один из факторов, поддерживающих гомеостаз среды. Поскольку минеральные удобрения существенным образом изменяют состав и численность населения почвы, это отражается и на ее энзиматических свойствах [305]. Не исключается и прямое воздействие вносимых азота, фосфора и калия на ферментные системы. Подкисление почвенной среды, происходящее при внесении физиологически кислых удобрений, может служить для этого

провокационным фоном. В табл. 46 приведены сведения о влиянии систематического использования минеральных удобрений (в течение 17 лет) на ферментативные свойства почвы.

Таблица 46

**Влияние длительного применения минеральных удобрений на активность почвенных ферментов [305]**

Вариант	Уреаза, мг NH <sub>3</sub> на 100 г почвы	Инвертаза, мг глюкозы на 100 г почвы	Амилаза, мг мальтозы на 100 г почвы
Без удобрений	10,0—37,0	640,0—700,0	44,0—135,0
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,0—12,0	300,0—600,0	10,0—14,0

Кроме прямого отрицательного влияния на почвенную биоту минеральные удобрения оказывают и косвенное воздействие. Примером может служить изменение при их использовании газового режима почв. Формирование газового режима обусловлено характером протекающих биохимических реакций, деятельностью корневых систем растений и населения почвы. В состав почвенного воздуха входят CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и другие газы. Увеличение или уменьшение их концентрации влечет за собой изменение экологических условий обитания биоты. Например, аммиак в концентрации 0,125—0,25% улучшает, а при ее повышении до 2% угнетает развитие микроорганизмов [326]. В связи с тем, что эволюция почвенных животных происходила в относительно постоянной среде, изменение ее параметров может очень сильно отразиться на жизнедеятельности отдельных представителей микро- и мезофауны и, соответственно, на вкладе этих организмов в процессы почвообразования.

## 5.2. Влияние пестицидов на биологические свойства почвы

Влияние пестицидов на население почвы во многом схоже с последствиями, наблюдаемыми при использовании минеральных удобрений. Но в отличие от последних, ядохимикатам свойственно более жесткое действие на живые организмы. Как правило, даже однократное их применение вызывает хотя и обратимые, но существенные изменения в деятельности различных групп почвенного населения. К наиболее изученным сторонам этого вопроса следует отнести взаимодействие пестицидов с почвенной микрофлорой. В качестве характерного примера, показывающего, как влияют пестициды на микроорганизмы, могут служить данные табл. 47.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что микрофлора отзывается на внесение в почву гербицидов увеличением или уменьшением своей численности. Причем один и тот же гербицид оказывает неодинаковое воз-

действие на отдельные группы микроорганизмов. Такие же закономерности прослеживались и в других исследованиях [73, 300, 313, 517, 233]. Так, фунгицид акрепс способствовал росту численности ряда грибов на 180% и, наоборот, уменьшению количества актиномицетов более чем в 3 раза. Под влиянием диносеба, при увеличении на 350—400% численности спорообразующих микроорганизмов, наблюдалось 3—4-кратное уменьшение количества актиномицетов [207].

Таблица 47

**Влияние гербицидов на почвенную микрофлору [366]**

Число дней после обработки	Плесневые грибы, тыс.	Целлюлозо-разрушающие микроорганизмы, тыс.	Нитрификаторы, тыс.	Аммонификаторы, тыс.	Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота, млн.	Актиномицеты, млн.
Контроль						
5	60	21	1,40	2,71	1,80	2,8
60	180	394	5,00	4,33	88,40	12,6
Линурон						
5	120	35	1,20	1,73	1,60	2,4
60	90	84	2,20	1,11	12,60	2,4
Пропазин						
5	50	21	0,60	2,27	18,20	4,4
60	240	179	4,10	4,57	65,40	10,8
Арезин						
5	90	40	0,70	1,93	6,20	2,6
60	130	128	3,30	1,92	34,40	4,4

Слабой устойчивостью к гербицидам характеризуются почвенные водоросли. Их развитие подавляют обычные производственные дозы. Через 6 дней после использования атразина, монурона и карботиона видовой состав почвенных водорослей сократился с 13 до 6, 4 и 3 видов, соответственно. Полного восстановления сообщества водорослей не происходило даже через один год после обработки. При систематическом применении указанных гербицидов наблюдалось вымирание отдельных, наиболее чувствительных, видов водорослей. Из альгофлоры исчезали сине-зеленые водоросли. Эта потеря для почвенной экосистемы весьма существенна, так как они участвуют в фиксации молекулярного азота [275, 274]. В целом в альгоценозе доминирующее положение получают только один или два вида, то есть формируется новое сообщество с более низким видовым разнообразием. Это свидетельствует о его неустойчивости. Ю.В. Круглов считает, что такие изменения рав-

нозначны экологическим катастрофам [274].

Многие пестициды отрицательно влияют на актиномицеты и грибы. Например, тигам, децис, каратэ, фастак, актелик снижали участие грибов в почвенной экосистеме под посевом ярового рапса с 28—30 до 17—25 видов [106]. Негативное действие особенно заметно при многократном или комбинированном применении пестицидов [276, 232]. В то же время среди почвенных микроорганизмов всегда находятся популяции, более устойчивые по отношению к определенным видам химических средств защиты растений, и поэтому их численность в составе микробиологической ассоциации остается прежней или даже увеличивается. Гербицид 2,4-Д способствовал размножению в почве микроорганизмов, растущих на МПА, но в то же время оказывал угнетающее действие на простейших [211].

Рост численности отдельных групп микроорганизмов под влиянием пестицидов происходит в результате гибели конкурирующих с ними популяций, а также улучшения питания за счет отмирающих почвенных организмов.

Ядохимикаты, попадающие в почву, подвергаются микробиологической деструкции. Роль микрофлоры в этом процессе оценивается в 10—70% [142]. При микробиологической деструкции ядохимикатов в почве возможно образование химических веществ, токсичность которых выше исходных соединений. Из разлагающегося гептахлора образуется метаболит элоксид, который токсичнее препарата в 2 раза, при разложении хлорофоса — ДДВФ, токсичность которого в 7—8 раз выше исходного соединения [348]. Вероятность образования высокотоксичных метаболитов возрастает при комплексном использовании агрохимикатов. Их обнаружение в почве и растениях традиционными химическими способами затруднено. Для этого используются более совершенные методы. Однако при этом в несколько раз увеличиваются затраты на проведение анализов. Опасность накопления подобного рода метаболитов, а следовательно, и отрицательного их влияния на население почвы в условиях регулярного применения пестицидов, по оценкам специалистов, будет возрастать [273, 524].

Пестициды, оказывая влияние практически на все группы почвенных микроорганизмов, изменяют азотфиксирующие свойства почвы. Гербициды трефлан (1 кг/га) и базагран (1,5 кг/га) снижали интенсивность симбиотической азотфиксации сои на 25,8—92,0% [426]. Ю.В. Круглов, изучавший влияние пестицидов на почвенные микроорганизмы, пришел к выводу, что под влиянием гербицидов в клубеньках снижается активность ни'трогеназы, уменьшается содержание леггемоглобина, падает азотфиксирующая способность. Далее приведены данные о влиянии гербицидов на азотфиксирующие свойства сои, полученные в полевом опыте (табл. 48). В отдельных его вариантах происходило незначительное увеличение урожайности. Но следует учитывать, что растения при этом переходили на питание почвенным азотом, что значительно снижало агротехническое, экологическое и экономическое значение бобовых культур.

По сведению зарубежных ученых, большинство из 108 испытанных гербицидов уменьшали численность и биомассу клубеньков на корнях белого люпина [426]. Снижение эффективности работы азотфиксирующего аппарата происходит и в отсутствии внешне заметных признаков. Пестициды вмешиваются в обменные процессы и нарушают усвоение азота на физиолого-биохимическом уровне. Ядохимикаты, попадая в растения, накапливаются не только в листьях, стеблях и корнях, но и в клубеньках бобовых. Так, при обработке гороха гербицидом его содержание в клубеньках было в 40 раз выше, чем в корнях [274].

Таблица 48

**Влияние гербицидов на нитрогеназную активность и урожай сои в полевых опытах [274]**

Вариант	Активность нитрогеназы		Урожай зерна, ц/га
	мкМ $C_2H_4$ на 1 растение	% от контроля	
Предпосевная обработка почвы гербицидами			
Контроль (без гербицидов)	39,4	100	1,87
Трефлан, 1 кг/га	16,6	42	1,93
Сенкор, 0,3 кг/га	21,8	55	1,57
Базагран, 1,5 кг/га	17,1	43	1,98
Обработка по вегетирующим растениям			
Дуал, 2,5 кг/га	2,7	7	1,36

Влияние ядохимикатов на ассоциативную азотфиксацию изучено слабо. Но можно с высокой долей вероятности предположить, что оно отрицательно. Основанием для такого заключения является характер воздействия средств защиты растений на почвенную микрофлору.

Средства защиты растений, так же как и минеральные удобрения, отрицательно влияют на почвенных животных. Особенностью этих видов живых организмов является то, что у большинства из них на поверхности тел отсутствует водонепроницаемый покров, и поэтому токсичные вещества, содержащиеся в почвенном растворе, легко поглощаются эпителиальными тканями [270]. После применения производственной дозы далофона количество отдельных видов дождевых червей снижалось в 5—8 раз, а в некоторых почвах два вида вообще исчезли. Восстановление их численности происходило только через 2—4 года. Использование хлорофоса, карбофоса, симазина и ТХА вызывало уменьшение выживаемости здоровых и поврежденных дождевых червей на 10—25%, а их массы на 22—68% [32, 35].

Опасность для дождевых червей увеличивается при совместном применении ядохимикатов и минеральных удобрений (табл. 49). В этом случае

даже внесение соломы и навоза не устраняет их отрицательного влияния.

Таблица 49

**Влияние средств химизации на численность дождевых червей [330]**

Вариант	Численность дождевых червей			
	Картофель		Ячмень	
	шт./га, тыс.	%	шт./га, тыс.	%
1. $N_{91}P_{104}$ + зеленое удобрение, 5,6 т/га + солома, 4 т/га + пестициды	36,1	100	83,4	100
2. $N_{79}P_{96}K_{78}$ + навоз, 17 т/га + пестициды	72,2	200	105,6	127
3. $N_{50}P_{62}K_{52}$ + навоз, 17 т/га, + зеленое удобрение, 5,6 т/га + пестициды (ограниченно)	138,8	384	158,4	190
4. Навоз, 17 т/га + зеленое удобрение, 5,6 т/га + солома, 4 т/га	163,9	454	277,9	333

Средства защиты растений, увеличивая мутагенный фон, отрицательно влияют на последующие поколения почвенных организмов. Его уровень при систематическом применении ядохимикатов в дозах, рекомендованных для производства, увеличивается в 10—20 раз [177]. Следствием применения пестицидов является сокращение разнообразия почвенных животных. В педоценозах начинают преобладать организмы, устойчивые к воздействию ядов. Так, в агроценозах Литвы, подвергавшихся интенсивной пестицидной нагрузке, видовой состав почвенных животных сократился со 150 до 5 доминирующих видов [601, 602].

Воздействие поллютантов на беспозвоночных проявляется на трех уровнях. На экосистемном уровне изменяется трофическая структура, вторичная продуктивность, функциональная структура, видовое разнообразие. На популяционном — плотность популяции, внутривидовое разнообразие, размерно-массовая структура, соотношение полов, соотношение возрастов. На организменном — химический состав, морфологическое строение, плодовитость, смертность, продолжительность жизни.

Почвенным беспозвоночным присущ большой размах чувствительности к химическим соединениям. Различие между отдельными видами по восприимчивости к загрязняющим веществам достигает 10 000—100 000 раз. Причем каждый вид имеет высокую чувствительность только к одному химическому соединению. Это создает непреодолимые трудности для определения допустимого уровня загрязнения [180,606].

Отрицательно влияя на население почвы или способствуя изменению соотношения между отдельными группами почвенного населения, пестициды затрагивают и биохимические свойства почвы. Анализ состояния изученности этого вопроса приведен в работе "Биохимические показатели почв как индикаторы загрязненности их пестицидами". В ней приведено достаточное количество результатов исследований, на основании которых можно констатировать существенные изменения в ферментативной активности и дыхании почв при использовании ядохимикатов [369].

Большинство приведенных данных получены в краткосрочных опытах и отражают в основном прямое влияние средств химизации на биологические свойства почвы. Их косвенное действие заметно проявляется только при систематическом применении, вызывающем изменения в физико-химических и биологических свойствах почвы и до сих пор остается неизученным. Следовательно, информация, которой мы располагаем, не в полной мере вскрывает последствия химического прессинга, и для получения объективных сведений необходимо ориентироваться на результаты, полученные в длительных стационарных опытах.

Таким образом, почва представляет собой среду, в которой обитает большое количество самых разнообразных организмов, и поэтому было бы ошибкой рассматривать ее в целом или ее отдельные параметры только с агрохимических позиций, то есть как источник доступных для растений элементов минерального питания. Кроме этой функции все без исключения почвенные характеристики являются экологическим фактором, определяющим особенности жизнедеятельности почвенной био-ты. Избирательное действие минеральных удобрений и пестицидов на живые организмы приводит к снижению насыщенности агроэкосистем биотой. Наиболее отчетливо это проявляется при длительном применении средств химизации. Обеднение, упрощение состава агробиогеноценозов согласно законам экологии повышает их неустойчивость и способствует возникновению эпифитотий, массовому размножению сорняков и вредителей. В современных условиях, когда с каждым годом ухудшается состояние окружающей среды, средства химизации следует рассматривать не как прием, повышающий урожайность сельскохозяйственных культур, а как фактор, изменяющий в неблагоприятную сторону условия обитания живых организмов.

Ввиду того, что каждая популяция микроорганизмов, каждая группа почвенных животных участвует преимущественно в определенных звеньях общей цепи превращений вещества и энергии, то уменьшение численности или перегруппировка состава педоценоза вызывает депрессию почвообразовательного процесса и нарушение биосферных функций почв. Свидетельством начавшейся деградации почв является повсеместное уменьшение их гумусированности и увеличение скорости миграции элементов минерального питания из пахотного горизонта. Очевидно, в почвах произошли настолько сильные изменения, что биота уже не в состоянии поддерживать на высоком

уровне гумификацию органического вещества и не обеспечивает закрепление биофильных элементов в пахотном горизонте. То есть в естественной цепи преобразования веществ, отдельными звеньями которой являются разные виды живых организмов, образовались слабые места, ограничивающие интенсивность процессов почвообразования.

Опасность вытеснения или сильного подавления отдельных компонентов педоценоза кроется и в возможном выходе почвенного сообщества на новый экологический уровень, при котором процессы почвообразования будут протекать только в очень узких интервалах физических и химических показателей почв. Это приведет к еще большей зависимости эффективного и потенциального плодородия от климатических условий (температуры, влажности), а значит, и снижению устойчивости урожаев, которое мы и наблюдаем в последние годы. Дальнейшее неконтролируемое применение средств химизации в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур усилит расшатывание агро-робиогеоценозов. И чем интенсивнее будут использоваться земледельческие допинги, тем большие средства потребуются для предотвращения возникновения отрицательных последствий их применения и для поддержания стабильности агроэкосистем.

Все изложенное выше ставит под сомнение целесообразность чрезмерного использования в земледелии минеральных удобрений и пестицидов. Их широкомасштабное использование в течение длительного времени нарушает стационарность биосферы и подрывает регенерацию жизненно необходимых для человека и других живых организмов факторов. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на окружающую среду одним из условий гармоничного развития человека и биосферы является перевод сельского хозяйства на новые принципы.



## **Глава 6. ЭКОЛОГО-БИОСФЕРНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ КАК СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ПЛАНЕТЫ**

Миллиарды лет эволюция жизни и биосферы направлялась законами природы. Однако несколько миллионов лет назад природа наделила одного из представителей животного мира разумом. Когда первые антропоиды, а позднее *Homo sapiens* развивались в чреве матери природы, ничто для них не предвещало опасности. Все текло своим чередом. Но со временем человек овладел достижениями научно-технического прогресса и превратился в могущественное существо. Он стал все активнее и активнее вмешиваться в естественный ход развития биосферы. В результате этого в ней произошли сначала локальные, а затем и глобальные изменения. Прогнозные исследования показывают, что при сохранении существующего уровня антропогенной трансформации биосферы полное ее истощение произойдет за несколько столетий [147].

Немалую долю в нарушение глобальных круговоротов веществ в биосфере вносит сельское хозяйство. В первых частях работы уже рассматривались проблемы, связанные с усилением миграции элементов минерального питания из пахотных почв при внесении минеральных удобрений и загрязнением окружающей среды пестицидами. Но воздействие аграрной отрасли на биосферу значительно шире, и поэтому в настоящей главе мы продолжим обсуждение этого вопроса.

### **6.1. Биосфера и масштабы ее сельскохозяйственного преобразования**

Земля как космическое тело существует 4,0—4,5 млрд. лет. Образование на ней биосферы совпадает со временем появления жизни, зародившейся 2,7—3,1 млрд. лет назад. Биосфера никогда не находилась в абсолютно устойчивом состоянии, так как входящие в ее состав компоненты постоянно изменялись. Каждый период в развитии биосферы характеризовался определенным составом, массой и специфичностью воздействия живых организмов на окружающую среду. Согласно расчетам американских ученых, на Земле за всю ее историю существовало более 500 млн. видов живых организмов. На сегодняшний же день их насчитывается всего несколько миллионов [228].

Обычно к самым мощным факторам, изменяющим внешний облик планеты, относят геологические силы. Это объясняется тем, что они в течение короткого промежутка времени способны перемещать огромные массы вещества. Результаты взаимодействия живой материи с окружающей средой на протяжении жизни одного или даже нескольких поколений людей не ощутимы. И поэтому участие живых организмов в изменении окружающего нас

мира долго оставалось незамеченным. Вместе с тем, если учитывать длительный период времени, измеряемый многими миллионами лет, в течение которого планета постоянно подвергалась воздействию живой материи, то оказывается, что произошедшие на ней изменения сравнимы с последствиями сильнейших геологических катастроф. Роль живых организмов в этих процессах была раскрыта в учении о биосфере, созданном В.И. Вернадским [103,104].

Основными функциональными единицами биосферы являются экосистемы различного уровня. Они представляют собой исторически сложившиеся образования, включающие в себя биотические сообщества и абиотическую среду. Внутри каждой экосистемы имеются свойственные ей потоки энергии и круговороты веществ [87]. При этом часть вещества и энергии выходит за их границы или, наоборот, получается извне. В результате такого взаимодействия между экосистемами устанавливается равновесный обмен, что, в конечном итоге, и обеспечивает стационарность биосферы. Формирование устойчивых потоков вещества и энергии в крупных экосистемах обеспечивают более мелкие — биогеоценозы. Под биогеоценозом понимают однородный участок земной поверхности с определенным составом живых и косных компонентов [418]. Обычно он включает в себя все типы живых организмов: продуцентов, консументов и редуцентов. В процессе их жизнедеятельности в биогеоценозе формируется свойственный для него круговорот веществ. При увеличении или уменьшении доли участия в биогеоценозе растений, микроорганизмов или животных, происходящем в результате воздействия каких-либо факторов, сообщество или переходит на более высокий уровень организации, или, наоборот, начинает деградировать, что вызывает соответствующие изменения в сопредельных экосистемах.

На первых этапах развития земледелия посевы сельскохозяйственных культур занимали небольшую площадь, и антропогенное воздействие на биосферу носило локальный характер. Но быстрый рост численности населения, наблюдаемый в последние столетия во всех без исключения странах, и необходимость увеличения производства продуктов питания способствовали тому, что в очень короткий промежуток времени огромные пространства естественных ландшафтов превратились в сельскохозяйственные угодья. Ввод в эксплуатацию новых земель, как правило, осуществлялся за счет вырубки лесных массивов. За всю историю земледелия (около 5—7 тыс. лет) их площадь сократилась с 6,2 до 4,2 млрд. га. В отдельных странах территории под лесами сократились более чем вдвое [451], а доля распаханых земель в структуре сельскохозяйственных угодий достигла 80 и более процентов. К концу XX столетия общая площадь пашни от всей поверхности суши составила 11%. С учетом лугов и пастбищ в сельскохозяйственный оборот вовлечено не менее 30% территории материков [218]. Такие масштабы трансформации природных экосистем, даже без учета площадей, которые занимают города, различные сооружения, постройки и дороги, не могли не отра-

зиться на состоянии биосферы. Полагают, что уничтожение естественных экосистем и интенсивное освоение поверхности планеты нарушают гидрологический и температурный режимы больших территорий, а также циркуляцию воздушных потоков. Это, в свою очередь, становится причиной климатических изменений. В конце XX в. участились случаи возникновения засух, оттепелей, похолоданий, сильных ветров, перерастающих в ураганы [350].

Следует отметить, что в сельскохозяйственный оборот вовлечены территории, которые ранее по своему вкладу в процессы, происходящие в биосфере, оказывали решающее влияние. В первую очередь распаиваются более плодородные земли. Они обеспечивали в естественных экосистемах образование значительных объемов органического вещества и, следовательно, в решающей степени определяли состояние экосистем. Поэтому судить о реальном размахе преобразований только по степени распаиванности земель было бы ошибочно. На сегодняшний день используется около 70% пригодных для сельского хозяйства почв.

Вовлечение в хозяйственный оборот новых земель сопровождается разрушением старопахотных. Ежегодно в результате водной и ветровой эрозии, опустынивания на планете теряется около 10 млн. га сельскохозяйственных угодий. Всего за всю историю земледелия было потеряно примерно 2 млрд. га земель. Часть их превратилась в пустыню. На землях, утративших хозяйственное значение, происходит естественное или искусственное восстановление растительности. Но это происходит медленно. И участие таких территорий в поддержании процессов, происходящих в биосфере, незначительно.

Приведенные примеры свидетельствуют, что и сельскохозяйственная отрасль может быть причиной глубоких изменений в биосфере. В связи с этим основные принципы земледелия должны предусматривать максимально возможное сохранение и передачу агроэкосистемам всех внутренних и внешних биогеохимических потоков, существовавших до освоения территорий. Только органическое слияние сельскохозяйственных ландшафтов с окружающей природой, о чем ратовал еще В.В. Докучаев, позволит поддерживать продуктивность агроэкосистем на высоком уровне при одновременном выполнении ими биосферных функций. Полная реализация этого замысла, ввиду чрезвычайной сложности, в истории земледелия не имеет примеров. Однако стремительно надвигающийся экологический кризис ставит перед нами в качестве первоочередной задачи разработку новых систем земледелия, которые бы не нарушали естественный ход развития биосферы.

## **6.2. Природоохранные формы земледелия**

Многочисленные проблемы, возникающие в результате применения агрохимикатов, особую остроту приобрели в странах с высоким уровнем химизации, в таких как Дания, Голландия, Швеция, Германия, Франция, США и

ряде других. Природоохранные и различные административные структуры этих государств были обеспокоены загрязнением продуктов питания, попаданием ядохимикатов, азотных и фосфорных удобрений в водные объекты. Это создало предпосылки для возникновения ферм, которые сократили или полностью отказались от применения минеральных удобрений и пестицидов. Появлению таких хозяйств способствовали и экономические трудности. В середине второй половины текущего столетия капиталистические страны охватил энергетический кризис. В период с 1970 по 1982 г. мировые цены на нефть увеличились с 3 до 35 долл. за баррель. Следствием этого явилось удорожание агрохимикатов, что ограничило возможности их использования.

В связи с участвовавшими случаями потребления загрязненных продуктов питания и отравления нитратами в 70-е гг. за рубежом резко увеличился спрос на экологически чистую продукцию. Несмотря на более высокую цену, объем ее производства в этот период в США увеличился в 6 раз и в стоимостном выражении достиг 3 млрд. долл. В этой стране к 1985 г. появилось более 20 тыс. ферм, которые не применяли средства химизации и поставляли на рынок экологически безопасные продукты растениеводства и животноводства. К 1987 г. их число достигло 30 тыс. Аналогичные процессы происходили и в Европе. К 1984 г. число таких хозяйств в Австрии достигло 700, Швейцарии—500, Франции — 3—4 тыс. В Германии количество альтернативных хозяйств с 1981 по 1986 г. увеличилось в два раза и к 1988 г. достигло 1930 ферм. Рост их численности наблюдается и в настоящее время. В 1993 г. в Германии альтернативные формы земледелия использовались на площади более 127 тыс. га (в 4385 хозяйствах). В целом по 12 странам ЕЭС в середине 90-х гг. было зарегистрировано более 10 тыс. экологических ферм. Правда, объем производимой продукции, выращиваемой без применения минеральных удобрений и пестицидов, пока еще невелик и составляет 1—3% от общего количества. Однако, по данным Международной федерации движений органического сельского хозяйства (IFOAM), он в ближайшие годы увеличится до 20% [444, 445, 591, 607, 98]. Достоверность этого прогноза подтверждается результатами специальных исследований. По данным американских специалистов, 44% фермеров США считают, что им необходимо начать внедрение технологий выращивания сельскохозяйственных культур, исключаящих применение средств химизации [445].

Во многих странах в 80—90-х гг. были приняты государственные программы, направленные на сокращение применения средств химизации и поощрение перехода на природоохранные формы земледелия. Правительства Индонезии и даже Пакистана отказались поддерживать программы развития сельского хозяйства, предполагающие использование пестицидов. В Швеции, Дании и Голландии принимаются меры по снижению объемов применения агрохимикатов. Для этого вводятся различные экологические налоги. В Дании налог взимается за несоблюдение требований по безопасному применению минеральных удобрений. В Австрии в 1986 г. введен "почвозащитный

сбор". Его размер составляет 5 австрийских шиллингов за 1 кг действующего вещества азота, 3 шиллинга за 1 кг калия и 1,5 шиллинга за 1 кг фосфора. Правительством Швеции введен экологический налог, который составляет 0,60 шведской кроны за 1 кг азота и 1,2 шведской кроны за 1 кг фосфора. Размер установленного налога соответствует 10% стоимости удобрений. Налогом облагается и применение в сельском хозяйстве ядохимикатов [84].

Наряду с мерами принуждения широко используются и методы экономического поощрения перехода на экологически безопасные формы земледелия. Они в основном представлены различными финансовыми выплатами, компенсациями, субсидиями. Их получают фермеры, которые внедряют природоохранные технологии выращивания сельскохозяйственных культур и производят экологически безопасную продукцию. Так, в Финляндии фермерам в течение трехлетнего переходного периода в соответствии с природоохранной программой для сельского хозяйства предоставляются ежегодные выплаты в размере 1400—1800 марок, а в последующем — 700 марок/га. Ожидается, что в ближайшее время в эту программу будет включено 90% фермерских хозяйств с общей площадью около 2000 тыс. га [454].

Необходимость финансовой поддержки фермеров обусловлена появлением дополнительных затрат в переходный период. Кроме того, альтернативное земледелие на первых этапах не обеспечивает сохранения прежних объемов производства и в некоторой степени снижает доход. Но возникающие потери могут компенсироваться большей ценой на производимую продукцию. Обычно она заметно выше. В Англии, например, на 30—50% [606].

Государственная поддержка фермеров обеспечивается и путем создания условий, способствующих возникновению рыночных структур, упрощающих реализацию экологически чистой продукции. Ее качество подтверждается соответствующими сертификационными документами, что также упрощает реализацию и служит пропаганде природоохранных способов сельскохозяйственного производства.

Продукция, поставляемая фермами, где внедрено природоохранное земледелие, выгодно отличается от той, которая получена при выращивании растений по традиционным технологиям. Она не загрязнена остатками минеральных удобрений и ядохимикатов, а также имеет лучшие потребительские показатели (табл. 50).

В поддержку сторонников природоохранного земледелия создана Международная федерация движений органического сельского хозяйства (IFOAM). Она объединяет около 500 организаций из 79 стран. В США с 1980 г. ежегодно проводятся национальные конференции по экологическому сельскому хозяйству, а начиная с 1988 г. правительство этой страны выделяет несколько миллионов долларов на разработку нехимических ("Organic-farming") способов выращивания культурных растений [98, 606]. При этом следует учитывать, что заинтересованность государств с развитой экономикой в переходе на альтернативные формы земледелия объясняется не только

желанием предотвратить загрязнение окружающей среды и не допустить ухудшения качества продуктов питания. Это вызвано и стремлением избежать перепроизводства продукции сельского хозяйства.

Таблица 50

**Характеристика картофеля и яровой пшеницы, полученных  
без применения минеральных удобрений и пестицидов  
(по многолетним данным Шведской с.-х. академии, Успала) [606]**

Картофель	Пшеница
Ниже урожай, но ниже потери при хранении	Нет различий в урожайности
Ниже общее содержание белка, но выше его качество	Ниже общее содержание белка, но выше его качество
Более светлая окраска	Более жидкое тесто
Больше витамина С	Более высокая вязкость
Лучше особенности кристаллизации крахмала	Меньше объемный выход хлеба
Лучшее сохранение вкуса до весны	По химико-физиологическим показателям лучше, по технологическим —
По всем показателям лучше	разные данные

По истечении трех десятилетий с начала возникновения за рубежом хозяйств, работающих с учетом соблюдения экологических требований, появились достаточные основания для их классифицирования. В зависимости от интенсивности использования ручного труда, органических удобрений, обработки почвы и средств химизации Г. Кант выделяет следующие природоохранные направления в земледелии: биолого-динамическое, биолого-органическое и биологическое [229].

Биолого-динамическое земледелие предполагает интенсивное использование ручного труда, органических удобрений, умеренную обработку почвы. Оно исключает применение средств химизации. Выраженной особенностью биолого-динамического земледелия является учет философских, этических и религиозных воззрений. Например, время обработки почвы в соответствии с этим направлением необходимо соотносить с расположением звезд. Хозяйства, придерживающиеся этого направления, существовали и раньше, задолго до возникновения экологических проблем. Небольшое число таких ферм имеется за рубежом и в настоящее время. Перспективы этого направления ограничены и обусловлены наличием групп лиц со специфическим мировоззрением. Предпосылок для развития биолого-динамического земледелия в России нет.

С научной и практической точки зрения большой интерес представляет биолого-органическое направление. Оно основано на ограничении ручного труда, интенсивном использовании органических удобрений, многократной обработке почвы, незначительном применении пестицидов и отказе от мине-

ральных удобрений. В зависимости от интенсивности применения отдельных приемов биолого-органическое земледелие делится на органо-биологическое, органическое, натуральное, экологическое и альтернативное. По мнению Г. Канта, при всех выгодах природоохранного характера, которые свойственны этому направлению, оно не имеет больших перспектив. Он объясняет это невозможностью сохранить и повысить плодородие почвы при отказе от минеральных удобрений, а также сложностями в организации реализации получаемой продукции. Кроме того, переход на биолого-органическое направление требует дополнительных финансовых затрат и разного рода консультаций. Поэтому фермеры неохотно соглашались на изменение прежних многократно опробованных технологических схем. Следует отметить, что многим, кто работает в сфере сельскохозяйственного производства, свойственна некоторая консервативность мышления. Ее истоки лежат в традиционности отдельных элементов производственного процесса, используемых на протяжении длительного времени. Консерватизм мышления рождает вполне понятную настороженность не только к новым формам земледелия, но и отдельным технологическим приемам. Слишком велика цена ошибки: потеря части, а иногда и всего урожая.

Главным достоинством биолого-органического направления является то, что оно исключает возникновение экологических проблем, связанных с применением агрохимикатов, и позволяет получать полноценную продукцию. Однако при этом остается не проработанным вопрос о способах повышения плодородия почв. Использование органических удобрений не может в полной мере компенсировать недостаток элементов минерального питания, возникающий вследствие выноса их с урожаем сельскохозяйственных культур. Это является слабой стороной биолого-органического земледелия, которая ограничивает его возможности.

Биологическое направление — это, по сути, традиционное земледелие, в котором строго в соответствии с природоохранными требованиями регламентируется применение минеральных удобрений и ядохимикатов. Сторонники этой формы земледелия считают, что без использования средств химизации невозможно предотвратить ухудшение плодородия почвы и избежать массового размножения сорняков, вредителей и возбудителей болезней. При этом одновременно уделяется большое внимание органическим удобрениям, азотфиксации и биологическим методам контроля численности нежелательных организмов. Биологическое земледелие представляет собой компромиссный вариант между полным отказом и максимальным использованием средств химизации. Оно позволяет притупить остроту многих проблем, но в то же время не разрешает их полностью. Некоторые из них переходят в разряд хронических. Об этом свидетельствуют результаты исследований, в которых даже невысокие дозы минеральных удобрений или быстроразлагающиеся пестициды оказывали заметное или скрытое отрицательное влияние либо на свойства почвы, либо на качество растениеводческой продукции,

либо приводили к загрязнению окружающей среды. Итак, биологическое земледелие следует рассматривать только как один из вариантов индустриально-технологических систем, в котором делается попытка соблюдения природоохранных требований.

Проблемы, которые наблюдаются в современном земледелии, стали толчком для поиска новых путей его развития и в России [405, 406, 407, 408]. На данный момент у нас имеется несколько концепций по выводу аграрной отрасли из кризисного состояния. Первая практически ничем не отличается от биологического земледелия, приверженцем которого является Г. Кант. В ее основе лежит в некоторой степени экологизированное индустриально-технологическое земледелие. По мнению ее сторонников, возникновение природоохранных проблем связано не с ущербностью используемых систем, а с нарушением правил использования средств химизации. Следует признать, что такой точки зрения придерживаются многие специалисты аграрной сферы, а также государственные служащие. Большая популярность индустриально-технологических систем земледелия объясняется тем, что они позволяют в короткий срок резко поднять урожайность сельскохозяйственных культур. Однако то, что было оправдано и приемлемо в земледелии ранее, уже не может использоваться в будущем по целому ряду причин, которые были раскрыты в предыдущих разделах.

А.А. Жученко и А.Д. Урсул одни из первых пришли к выводу о бесперспективности тотальной химизации аграрной отрасли. По их мнению, современные индустриально-технологические системы земледелия с природоохранной точки зрения являются экстенсивными, так как основаны на использовании невозполнимых ресурсов планеты. Они предлагают свою концепцию развития сельского хозяйства — адаптивную. Ее фундаментом является максимальное использование генетического потенциала растений и, что очень важно, естественных природообразовательных процессов.

Сельскохозяйственные культуры существенно отличаются по своей требовательности и устойчивости к факторам окружающей среды. Некоторые из них не выносят малоплодородных, кислых почв. В индустриально-технологических системах земледелия эта проблема решается путем внесения повышенных доз минеральных и известковых удобрений. Проведение этих мероприятий требует значительных затрат и является причиной ухудшения состояния окружающей среды. В адаптивной системе земледелия такой подход неприемлем. С эколого-экономической точки зрения гораздо выгоднее не доводить параметры почв или других факторов среды до требуемых значений, а выращивать такие культуры, адаптивный и генетический потенциал которых позволяет "нейтрализовать" неблагоприятные условия выращивания. Так, например, многолетние бобовые травы способны формировать высокие урожаи на малоплодородных почвах, а картофель и люпин — на кислых. Следовательно, подбор культур с максимально возможным учетом биологических особенностей и условий их произрастания позво-



лит существенно снизить антропогенное давление на агроэкосистемы и уменьшить затраты на их выращивание.

Значительный вклад в определение бесконфликтного по отношению к окружающей среде направления развития земледелия сделан А.Н. Тюрюкановым и В.М. Федоровым. Они считают, что полное устранение предпосылок для возникновения имеющихся проблем в аграрной сфере возможно только при переходе на принципиально новую стратегию развития, а теоретической базой для аграрной сферы в будущем должен стать биосферный тип мышления. По их мнению, все современные системы земледелия, да и многие из тех, которые предлагаются в качестве альтернативных, слишком узко рассматривают сельскохозяйственное производство — только как способ получения продуктов питания и сырья. Это и является главной причиной возникновения экологических проблем. В настоящее время аграрную отрасль следует рассматривать как фактор формирования процессов, протекающих в биосфере, как фактор, который нарушает естественный ход развития биосферы, и, наконец, как фактор, определяющий результаты взаимодействия человека и биосферы. Это утверждение является методологической основой, которая вскрывает истинные причины кризиса в земледелии и указывает на направления его развития. В соответствии с их воззрениями необходимо переходить к разработке биосферного земледелия.

К сожалению, работа А.Н. Тюрюканова и В.М. Федорова не получила дальнейшего совершенствования. Очевидно, это объясняется тем, что авторы не ставили перед собой задачу подробной детализации высказанных соображений и придания им соответствующей формы.

Ландшафтную систему земледелия также можно отнести к природоохранным. В ней большое внимание уделяется организации агроэкосистем, но при этом делается акцент на предотвращение возникновения эрозионных процессов. Авторами этой системы предложен ряд экологических принципов и законов, соблюдение которых предотвращает отрицательное воздействие земледелия на окружающую среду [600].

Другая, менее известная концепция развития земледелия, построенная на природоохранной основе, получила название экологическое земледелие [407]. В ней большое внимание уделяется экологическим принципам устройства агроэкосистем, что и отражается в названии. Ее автор обращает внимание на необходимость улучшения биологических свойств почвы, активизацию естественного почвообразовательного процесса, создание определенным образом организованных агрофито-ценозов и лесоаграрных ландшафтов. Реализация всех принципиальных положений экологического земледелия позволит, по мнению автора, постепенно снижать использование средств химизации.

Знакомство с особенностями адаптивного, биосферного и экологического земледелия показывает, что при всех имеющихся различиях они не противоречат, а скорее дополняют друг друга. Их несхожесть, скорее всего,

объясняется профессиональной специализацией авторов, которые рассмотрели в одной и той же проблеме различные ее аспекты.

Природоохранные формы земледелия, разрабатываемые в России, несколько отличаются от зарубежных. Им свойственна более глубокая теоретическая основа, в то время как за рубежом больше внимания уделяется практической и экономической стороне вопроса. Это вполне объяснимо. Фермеры всех развитых стран давно работают в рыночных условиях, и снижение эффективности производства может иметь для них катастрофические последствия. Но следует отметить, что и там в последнее время стали уделять больше внимания теоретическим аспектам природоохранного земледелия, о чем свидетельствует появление такой коллективной монографии, как "Сельскохозяйственные экосистемы".

### **6.3. Эколого-биосферное земледелие**

#### *6.3.1. Конкретизация термина*

Всесторонний анализ предлагаемых природоохранных форм земледелия показывает, что они по своему содержанию не в полной мере соответствуют тем проблемам, которые стоят перед аграрной сферой. Все они заслуживают внимания, но, тем не менее, носят несколько односторонний характер. Некоторые из них недооценивают значение биологических свойств почвы или не раскрывают путей повышения ее плодородия, которые должны заменить минеральные удобрения. Другие недооценивают роль севооборотов, обработки почвы или бобовых культур. Только А.Н. Тюрюканов и В.М. Федоров обращают внимание на биосферную роль земледелия, но при этом они упускают частные моменты, без которых невозможно создание стройной системы.

Новые формы земледелия должны предусматривать сохранение биосферных функций почв и агроландшафтов. Этим вопросам также не уделяется достаточного внимания. И наконец, земледелие должно не только не создавать трудности природоохранного характера, но и должно способствовать решению глобальных экологических проблем, с которыми столкнулось человечество. Таких, как парниковый эффект, разрушение озонового экрана, кислотные дожди, сохранение биоразнообразия, истощения отдельных видов традиционных природных ресурсов. Роль земледелия в решении этих вопросов может быть весьма значительна. Ведь оно основано на вовлечении в хозяйственную деятельность природных объектов, являющихся основными компонентами биогеоценозов и биосферы в целом. С участием почв и растений формируются круговороты азота, кислорода, углекислого газа и других элементов. Агроландшафт является средой обитания для многих видов живых организмов. Его правильная организация или использование способству-

ют сохранению нормальных условий для их существования.

Сельскохозяйственные агроэкосистемы занимают около 30% территории суши. Соответственно, их вклад в перевод атмосферного углерода в органическое вещество ощутим. Он остается большим и с учетом того, что продуктивность искусственных фитоценозов не уступает, а в ряде случаев, и превосходит естественные. Земледелие оказывает и косвенное воздействие на содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере. Например, производство средств химизации сопровождается выделением углекислого газа и, наоборот, поглощением кислорода. Для получения 1 т химически связанного азота требуется 2—3 т каменного угля. Сжигание же 1 т каменного угля ведет к образованию 3 т  $\text{CO}_2$  и 20 кг  $\text{SO}_2$  [138]. Всего же в сельскохозяйственном секторе расходуется до 30% всей потребляемой энергии. Следовательно, если в земледелии будет снижено использование энергоемких материалов, средств, приемов, то это внесет определенный вклад в снижение загрязнения атмосферы парниковыми газами. Существуют и другие возможности участия земледелия в решении глобальных экологических проблем.

В соответствии с теми задачами, которые стоят перед земледелием и его вкладом в формирование процессов, протекающих в биосфере, все прежние его названия, такие, как биологическое, органическое или экологическое, являются ограниченными. Любое из этих названий не раскрывает всех свойств, качеств и признаков земледелия, которое должно постепенно сменить индустриально-технологическое. По-нашему мнению, наиболее соответствующим его сущности будет название эколого-биосферное земледелие [404]. Под эколого-биосферным земледелием следует понимать комплекс мероприятий по сохранению и повышению плодородия почвы, урожайности сельскохозяйственных культур, направленных на создание устойчивых агро-биогеоценозов, которые не нарушают естественных биогеохимических потоков в агроландшафтах и природных процессов, протекающих в биосфере.

### *6.3.2. Пути активизации почвообразовательного процесса в эколого-биосферном земледелии*

Всех ученых, изучающих различные аспекты плодородия почв, при единстве взглядов на целый ряд вопросов, тем не менее, можно разделить на сторонников агрохимического и биологического направлений. Первые считают, что сохранить, а тем более повысить плодородие почв невозможно без применения минеральных удобрений. История агрохимического направления — это пример неуклонного движения вперед научной идеи. На протяжении всего периода своего существования она пользовалась неизменной поддержкой среди производителей, управленцев и научных работников.

По мнению приверженцев биологического направления, основная роль в повышении плодородия почв должна отводиться живым организмам. Этой точки зрения придерживались С.П. Костычев и А.С. Фаминцын, о чем свиде-

тельствует эпиграф к данной работе. Биологическое направление заметно укрепило свои позиции к середине XX в. В этот период очень быстро развивалась почвенная микробиология, благодаря которой все отчетливее проявлялась роль почвенного населения в почвообразовательных процессах и в жизни растений. Однако постепенно те позиции, которые занимало биологическое направление, были утрачены. Очевидно, это связано с тем, что применение минеральных удобрений давало быстроощутимые результаты, а возможности практического использования почвенной микробиологии, зоологии, а тем более экологии были не ясны. Поэтому господствующим стало агрохимическое направление, а биологическому была отведена роль "научной золушки". На данный момент биологическое направление представлено в основном работами по азотфиксации. Но так как по мере применения минеральных удобрений все сильнее обнажаются отрицательные последствия их использования, думается, что с течением времени биологическим способам повышения плодородия почв будет уделяться все большее и большее внимание. Необходимость в этом возникает и в связи с переходом на природоохранные формы земледелия, которые предполагают снижение или даже отказ от использования средств химизации.

Зарубежный опыт перехода на природоохранные формы земледелия показывает, что чаще всего это сопровождается снижением урожайности сельскохозяйственных культур. Оно, по различным оценкам, составляет не больше чем 10—20% (табл. 51) [115,452]. Аналогичные данные получены и при изучении этого вопроса в России. В опытах В.Ф. Кирдина и Е.К. Саранина урожайность пшеницы при ее выращивании без применения минеральных удобрений и пестицидов снизилась на 16,6% по сравнению с традиционной системой земледелия. При этом авторы отмечают, что затраты на ее выращивание уменьшились больше чем на треть [240].

При сравнении природоохранного и традиционного земледелия очень важно избежать неверных оценок. Некоторые исследователи делают вывод о снижении продуктивности пашни при исключении применения минеральных удобрений. Но при этом абсолютно не учитывается то, что в опытах не проводилось никаких других мероприятий по улучшению минерального питания растений или то, что наблюдения проводились на севооборотах, составленных для индустриально-технологических систем. То есть природоохранное земледелие в некоторых случаях заведомо ставится в неблагоприятные условия. Если природоохранное земледелие понимать только как отказ от применения средств химизации, то это, конечно же, неверно. Переход на новые формы предполагает комплексное использование самых разнообразных приемов, направленных на улучшение биологических свойств почв, увеличение поступления органического вещества, усиление клубеньковой и ассоциативной азотфиксации, поддержание фунгистатического потенциала почвы. Их отсутствие или неправильное использование — это неверный подход к решению вопроса.

**Урожайности сельскохозяйственных культур  
в экологическом земледелии  
в сравнении с интенсивным (интенсивное = 100%) [98]**

Культура	Страна	Характер полученных данных	Результат, %
Морковь	Голландия	Сравнение интенсивной и экологической практики	83
	ФРГ	Все фермы в регионе	96
	США	Научный эксперимент	95
Яровая пшеница	Голландия	Сравнение интенсивной и экологической практики	82
	Швеция	Научный эксперимент	83
	Германия	Сравнение по 200 участкам с интенсивной и экологической практикой	72
	Россия	Научный эксперимент	89

Одно из основных отличий агрофитоценозов от естественных растительных сообществ состоит в том, что с уборкой урожая из агроландшафта изымается большое количество связанного углерода и минеральных веществ, поглощенных из почвы. По обобщенным данным, зерновые культуры при урожае 50 ц/га выносят из почвы 125 кг N, 54,5 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 87,5 кг K<sub>2</sub>O и некоторое количество других элементов [238]. В наших исследованиях вынос элементов минерального питания с урожаем корней кормовой свеклы 500 ц/га составил 100 кг N, 45 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, и 175 кг K<sub>2</sub>O. Таким образом, если в природных экосистемах круговороты органики и биофильных элементов практически замкнуты, то агроэко-системы ежегодно теряют значительную часть вещества и запасенной в нем энергии. Это является одной из причин их неустойчивости.

Факт выноса с урожаем химических элементов, обнаруженный немецким химиком Ю. Либихом, позволил ему научно обосновать теорию минерального питания растений, которая послужила мощным толчком к применению и производству удобрений. Их использование позволило очень быстро повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Существующие на сегодняшний день объемы производства и применения минеральных удобрений, по мнению многих специалистов, необходимо увеличивать. Однако такой путь повышения урожайности порождает большое количество проблем, острота которых будет нарастать с каждым годом. Если же руководствоваться соображениями о необходимости снизить объемы применения минеральных удобрений или даже отказаться от них, то возникает вопрос — за счет чего в таком случае можно обеспечить нормальное корневое питание расте-

ний?

Как известно, основным источником биофильных элементов для растений служит преимущественно верхний слой почвы, но содержания в нем макро- и микроэлементов, необходимых для формирования высоких урожаев сельскохозяйственных культур, в большинстве случаев недостаточно. В то же время в материнских породах, особенно в слоях, подстилающих гумусовый горизонт, как правило, имеется значительное количество не используемых растениями химических элементов (табл. 52).

Таблица 52

**Валовое содержание фосфора и калия в серой лесной почве, % [20]**

Горизонт, см	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Горизонт, см	K <sub>2</sub> O
0—25	0,14	0—10	1,53
26—50	0,12	26—36	1,57
60—70	0,12	45—53	1,61
91—101	0,11	60—70	1,57
125—136	0,11	85—95	1,64
140—150	0,11	117—127	1,63

Сравнение данных по валовому содержанию фосфора и калия в гумусовом и других горизонтах показывает, что они очень близки между собой. И только меньшая доступность элементов минерального питания не позволяет растениям эффективно их использовать. Аналогичные сведения имеются и в отношении микроэлементов (табл. 53).

Таблица 53

**Распределение микроэлементов в профиле темно-серой почвы [212]**

Глубина, см	Содержание микроэлементов, мг/кг					
	Мп	Zn	Си	Со	Мо	В
0—10	750	65,3	42,7	15,6	1,2	42,6
25—35	675	69,2	37,6	15,2	1,2	41,6
40—50	610	67,6	35,1	14,8	1,5	45,6
70—80	591	61,7	40,3	14,2	1,5	36,7
130—140	515	45,2	33,1	15,7	1,2	37,3

Итак, в почвенных горизонтах, прилегающих к пахотному, содержание химических элементов, необходимых для минерального питания растений, находится примерно на том же уровне, что и в верхних слоях. Однако все они представлены малодоступными формами и практически не усваиваются растениями. В связи с этим возникает вопрос: а нельзя ли каким-либо способом

перевести химические элементы, содержащиеся в подпахотных горизонтах, в доступные для растений формы и улучшить таким образом минеральное питание растений? То есть суть проблемы состоит в том, что необходимо активизировать почвообразовательный процесс. Если мы сумеем добиться этого, то вещества, содержащиеся в подпахотных горизонтах, будут более активно вовлекаться в почвенные превращения, а следовательно, станут более доступными для растений.

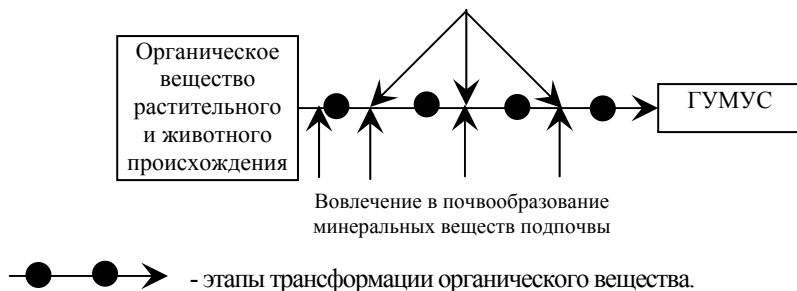
Одной из причин, почему минеральные удобрения не могут быть использованы в качестве долговременного способа увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур, являются ограниченные запасы сырья, из которого они производятся. Если же земледелию взять на вооружение приемы, позволяющие активно вовлекать материнскую породу в почвообразовательные процессы, то оно получит практически неисчерпаемый источник всех элементов минерального питания.

Эту идею ранее пытались осуществить, разрыхляя подпахотные горизонты. Однако результативность приема оказалась невысокой, а его проведение требует значительных затрат. Для повышения доступности химических элементов, находящихся в глубоких горизонтах почвы, предлагалось использовать щавелевую кислоту. При ее внесении происходит растворение труднодоступных для растений соединений [525]. Но и этот способ, очевидно, неприемлем с экономической точки зрения. Кроме того, при его проведении не исключается и отрицательное влияние на свойства почвы.

По общему мнению, самый эффективный способ повышения доступности химических элементов — обогащение почвы органическим веществом, которое служит вещественной и энергетической базой для процесса почвообразования. Его упрощенная схема имеет следующий вид (рис. 9).

После отмирания живой материи органическое вещество попадает в почву и подвергается постепенному разрушению, которое осуществляется сменяющимися друг друга почвенными животными и микроорганизмами. Каждый вид живых организмов участвует (прямо или косвенно) преимущественно на определенном этапе деструкции органического вещества, поэтому существенное одностороннее увеличение или, наоборот, снижение численности живых организмов ведет к нарушению обменных процессов. В педоценозах с измененной структурой минерализация органики может происходить с высокими потерями углерода за счет выделения его из почвы в виде углекислого газа. Это является весьма нежелательным процессом, так как ведет к снижению коэффициента гумификации. Правда, трансформация веществ в почве на каждом этапе превращений имеет несколько возможных вариантов, но они осуществимы только при определенной температуре, влажности среды и наличии соответствующих организмов. Множественность путей преобразования органического вещества является одним из свойств, возникшим в процессе эволюционного развития почв, позволяющим им поддерживать свой гомеостаз на определенном уровне в относительной независимости от

окружающих факторов. Однако еще раз подчеркнем, что это возможно только при условии наличия в почве большого разнообразия живых организмов.



**Рис. 9. Упрощенная схема почвообразовательного процесса**

На определенных этапах трансформации органического вещества за счет специфических физико-химических свойств гуминовых и фульвокислот, а также за счет деятельности живых организмов осуществляется вовлечение в почвообразовательные процессы газообразного азота и минеральных элементов, содержащихся в материнской породе. Детали этих процессов рассмотрены выше. Их интенсивность также, в конечном итоге, зависит от видового состава биогеоценоза. Поэтому изменение его структуры крайне нежелательно. И, наоборот, для того, чтобы активизировать обменные процессы в почве, следует добиваться повышения степени ее биогенности, а для этого необходимо увеличить поступление органического вещества.

Естественное накопление в почве доступных для растений элементов минерального питания возможно только в том случае, если биота активно вовлекает материнскую породу в почвообразовательные процессы. За счет "вгрызания" биоты в материнскую породу входящие в ее состав элементы минерального питания переводятся в доступную для растений форму, а сам гумусовый горизонт как бы постепенно погружается в подстилающую породу. Непрерывность этого процесса — залог сохранения и тем более повышения плодородия почвы.

При этом необходимо четко представлять, что повышенное содержание необходимых для живых организмов химических элементов в верхних горизонтах почвы объясняется, с одной стороны, их надежным биологическим закреплением, а с другой — геохимическим выносом из активной зоны больших количеств подвижных веществ и элементов, которые образовались в результате воздействия живой материи на грунт и которые не имеют значения для биоты. Последние, не задерживаясь в верхних горизонтах, включаются в геохимический поток, создавая тем самым повышенную концентрацию в почве биофильных элементов. Следовательно, активное преобразование материнской породы, осуществляемое комплексом живых организмов,



позволит решить одну из главных проблем природоохранного земледелия — обеспечение нормального питания растений макро- и микроэлементами. Но это возможно только при поступлении в почву соответствующего количества энергетического материала.

Значит, проблема обогащения почвы органическим веществом остается по-прежнему актуальной. В индустриально-технологических системах земледелия ее нерешенность компенсировалась внесением минеральных удобрений. В эколого-биосферном земледелии должны использоваться другие способы, не наносящие ущерба окружающей среде.

Основным источником органического материала, участвующего в почвообразовательных процессах естественных биогеоценозов, служат отмирающие корни, стебли и листья. В агрофитоценозах поступление растительного опада резко уменьшается, что отрицательно отражается на интенсивности обменных процессов в почве. Сохранить объемы поступления органического вещества в почву агробиогеоценозов можно за счет использования физиологических свойств самих растений. Частично этот вопрос обсуждался в разделе 4.3. Но, по-видимому, его значение в земледелии не ограничивается уже рассмотренным аспектом. Очевидно, выделительная функция корней, сформировавшаяся в процессе эволюционного развития растений, служит не только обеспечению энергией ассоциативных азотфиксаторов, но и активизации почвообразовательного процесса. Основание для такого заключения дают результаты исследований С.А. Самцевича. Он определил, что корневые системы растений в течение вегетационного периода выделяют большое количество органических веществ. Их общий объем соизмерим с урожаем надземной массы. Ежегодно в результате физиологической деятельности корневых систем в переводе на сухую массу в почву поступает до 5—10 и более тонн корневых выделений [484]. Следовательно, если ранее мы считали, что основным источником органического вещества, попадающего в почву, являются растительные остатки (корни и надземные части растений), то теперь следует учитывать и его поступление с прижизненными корневыми выделениями.

Количественная характеристика выделительной функции корневых систем, полученная С.А. Самцевичем, позволила ему высказать предположение, что корневые выделения растений в не меньшей степени, чем растительные остатки, принимают участие в формировании почвенного плодородия. Однако его предложение не привлекло к себе внимания. Очевидно, это объясняется тем, что решающая роль в повышении плодородия почв в этот период отводилась минеральным удобрениям. Другие способы считались менее эффективными. Но поскольку средства химизации стали рассматриваться как фактор загрязнения окружающей среды, оставить без внимания тот факт, что поступление органического вещества в почву из корневых систем растений равноценно поступлению его при внесении органических удобрений, было бы непростительной ошибкой. Более того, усилив поступление в почву кор-

невых выделений (селекционным или агротехническим путем), можно решить проблему обогащения почвы органическим веществом [399].

Всякое предложение, направленное на решение проблемы нетрадиционными способами, должно иметь методологическую основу. Под этим понимается отсутствие противоречий между содержанием идеи и сущностью процесса, в рамках которого предлагается ее использовать. Изучение выделительной функции корневых систем показывает, что это свойство растений сформировалось в результате длительной эволюции и направлено на снижение зависимости от внешних факторов. Так, минеральное питание растений существенно улучшилось после того, как часть продуктов фотосинтеза в виде корневых выделений стала попадать в субстрат. Как и любое другое органическое вещество, они, вовлекаясь в почвообразовательный процесс, в конечном итоге ускорили перевод необходимых для растений химических элементов в доступную для них форму. Благодаря корневым выделениям растения получили возможность регулировать уровень своего минерального питания.

Очевидность участия растений в активном преобразовании окружающей среды с целью придания ей необходимых для жизни параметров следует и из анализа роли живого вещества в формировании биогеохимических круговоротов в биосфере [147].

Выделительная функция корневых систем имеет значение и для улучшения азотного питания растений. Корневые выделения служат прекрасной средой для микроорганизмов, осуществляющих ассоциативную азотфиксацию. Ее интенсивность находится в прямой зависимости от количества корневых выделений, поступающих в почву. Так, максимум азотфиксации совпадает по времени с максимальным поступлением в ризосферу корневых выделений [178], на образование которых направляется до 1/3 всех продуктов фотосинтеза [545]. То есть между интенсивностью азотфиксации, фотосинтезом и объемом поступающих в почву корневых выделений существует очень тесная взаимосвязь. Ее наличие подтверждается данными о резком снижении интенсивности азотфиксации и количества бактерий, способных связывать азот в ризосфере корней при прекращении поступления продуктов фотосинтеза в корень [179].

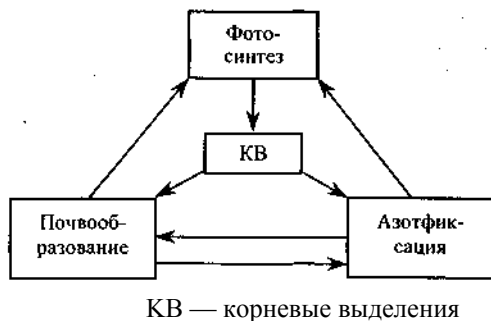
Поступление в почву большого количества органического вещества в виде корневых выделений оказывает положительное влияние на азотфиксацию и весь комплекс почвообразовательных процессов. Улучшение обеспечения растений азотом, в свою очередь, увеличивает поступление в почву всех групп органических веществ и создает основу для активизации жизнедеятельности всех видов живых организмов, населяющих почву.

Сопоставление имеющейся информации о фотосинтезе, азотфиксации и почвообразовании дает основание для заключения о том, что все эти процессы тесно связаны друг с другом. Схематическое изображение взаимодействия рассматриваемых процессов приведено на рис. 10.

Из рисунка видно, что фотосинтез, азотфиксацию и почвообразование следует рассматривать как структурные компоненты одной системы, взаимодействующие между собой через прямые и обратные связи. Изменения в любом из них неизбежно отразятся соответствующим образом на двух других.

Понимание взаимосвязи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием имеет большое теоретическое и практическое значение. Например, известно, что выращиваемые в настоящее время сельскохозяйственные культуры практически не отличаются от диких образцов по интенсивности фотосинтеза. Как выяснилось, качественных изменений в фотосинтетическом аппарате, то есть в увеличении скорости связывания двуокиси углерода, у современных высокоурожайных сортов не произошло. Рост их продуктивности связывают с перераспределением продуктов фотосинтеза и увеличением фотосинтетического потенциала.

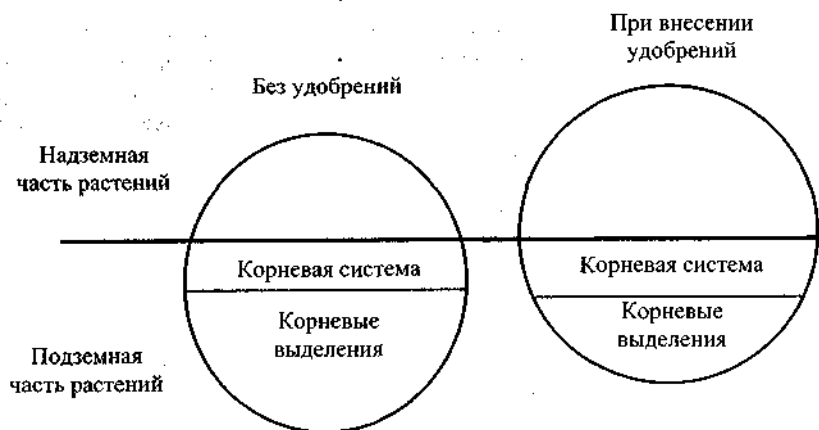
Продукты фотосинтеза, особенно в начальный период роста, используются преимущественно на формирование листового аппарата. Однако возникают вопросы, на которые пока никто не дал ответа. Как такое перераспределение отразилось на интенсивности поступления корневых экссудатов в почву? Не наблюдается ли увеличения фотосинтетического потенциала растений за счет подавления выделительных свойств корневых систем? Судя по тому, насколько требовательны современные сорта к уровню минерального питания, насколько их продуктивность зависит от применения минеральных удобрений, так, видимо, и произошло. Это подтверждается нашими исследованиями и сопоставлением их с данными, полученными другими авторами.



**Рис. 10. Схема взаимодействия процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования**

Как уже ранее отмечалось, в исследованиях по изучению особенностей флуоресценции хлорофилла было установлено, что внесение минеральных удобрений не повлияло на интенсивность первичных процессов фотосинтеза. Но всегда при этом происходит повышение урожайности. Значит, единствен-

ным путем увеличения массы растений при внесении минеральных удобрений служит перераспределение продуктов фотосинтеза. Изменения, происходящие в растениях при этом, можно представить следующим образом. Та часть продуктов фотосинтеза, которая обычно должна участвовать в образовании корневых выделений, направляется на формирование дополнительного листового аппарата. В результате происходит увеличение площади листьев посева и урожайности. При этом общая чистая первичная продукция (надземная часть + корневая система + корневые выделения), очевидно, существенно не меняется (рис. 11).



**Рис. 11. Влияние внесения минеральных удобрений на перераспределение продуктов фотосинтеза**

Итак, выделительная функция корневых систем представляет собой. Вышеизложенное полностью согласуется с результатами экспериментов, проведенных С.М. Самосовой [483]. Она в полевых и вегетационных опытах установила, что при внесении в субстрат Cu, Co и Zn происходит существенное, в два-три раза, снижение выделительной функции растений. С другой стороны, обеднение субстрата элементами минерального питания, наоборот, приводит к заметному усилению выделительных свойств корневых систем. Причем в составе корневых выделений увеличивается содержание тех соединений, которые, как полагают авторы, повышают доступность элементов минерального питания, находящихся в минимуме [476]. Аналогичная реакция на уровень минерального питания обнаружена у клеток дрожжевых культур [331]. Все это подтверждает, что растения, координируя направления использования продуктов фотосинтеза, в определенной степени способны регулиро-

вать собственный уровень минерального питания.

Если это заключение верно, то применение минеральных удобрений, уменьшая поступление корневых экссудатов в почву, закономерно неблагоприятно влияет на процессы азотфиксации и почвообразования. В результате возникает их скрытая депрессия. Для повышения урожайности мы вынуждены использовать средства химизации. Но при этом проблема не только не разрешается, а усугубляется. При внесении минеральных удобрений ухудшаются физические, химические и биологические свойства почв. Кроме того, внесение удобрений порождает новые проблемы — экологические и экономические. Следовательно, понимание связи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием дает нам методологическую основу для оценки последствий нашего вмешательства в агроэкосистемы.

приспособление растений, направленное на снижение их зависимости от факторов внешней среды, а конкретно — от содержания в почве доступных элементов минерального питания. Предложение о возможности обогащения почвы органическим веществом за счет усиления выделительной функции корневых систем растений не противоречит сущности этого процесса. Увеличение поступления в ризосферу прижизненных корневых выделений должно закономерно сопровождаться активизацией азотфиксации, почвообразовательного процесса и улучшением минерального питания растений

Предлагаемый способ повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур при его сравнении с агрохимическим имеет существенные преимущества. Во-первых, он экологически безопасен, так как основан на естественных природообразовательных процессах. Не без основания полагают, что их использование является одним из главных путей решения экологических проблем, возникающих в аграрной сфере [186]. Во-вторых, такой способ предпочтителен с экономической точки зрения. Приобретение, транспортировка, хранение и внесение минеральных удобрений требуют больших затрат. Их доля при выращивании сельскохозяйственных культур достигает 40% от общих. Поэтому, если задача повышения плодородия почв будет решена менее дорогостоящим способом, за счет физиологических свойств самого растения, то это даст значительный экономический эффект.

Вместе с тем, следует отметить, что даже при максимальной интенсивности почвообразовательного процесса в некоторых почвах, ввиду специфичности геохимических условий, может наблюдаться аномально низкое содержание отдельных элементов. Это явление широко известно, так как неблагоприятно отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур. Выход из этой ситуации лежит через использование адаптивного потенциала растений. Концепция адаптивной интенсификации аграрной отрасли разрабатывается в нашей стране А.А. Жученко и А.Д. Урсулом [186]. По их мнению, возникновение многих проблем современного земледелия можно предотвратить, если биологические особенности культивируемых растений будут мак-

симально соответствовать тем почвенно-климатическим условиям, где они выращиваются.

Реализация адаптивного потенциала растений во многом зависит от степени разнообразия выращиваемых культур по биологическим и хозяйственно-полезным признакам. В связи с этим особую важность приобретают работы по интродукции и окультуриванию растений дикой природы. Параллельно необходимо проводить исследования по выявлению отдельных видов и сортов растений, способных формировать высокие урожаи в условиях, при которых другие культуры снижают свою продуктивность. Их выращивание позволит значительно сократить затраты энергии, а также ресурсов на доведение параметров окружающей среды до оптимальных значений и сведет до минимума антропогенное искажение естественных биогеохимических потоков. Так, потенциальные возможности многих культур реализуются не в полной мере при выращивании их на кислых или засоленных почвах. В то же время имеется целый ряд сельскохозяйственных растений, обладающих низкой чувствительностью к этим показателям, а потому не требующих известкования или гипсования.

При использовании естественного почвообразовательного процесса в качестве одного из способов обеспечения растений элементами минерального питания первостепенную важность приобретает вопрос о величине урожая, на которую мы должны ориентироваться. Ясно, что для сохранения имеющегося плодородия их уровень должен соответствовать интенсивности почвообразовательного процесса, а не определяться экономическими или какими-либо другими соображениями. Это вытекает из того, что повышение плодородия почвы возможно только при положительном балансе между скоростью извлечения из материнской породы элементов минерального питания и их выносом с урожаем, а также между скоростью образования и минерализации гумусовых веществ.

Конкретизация представлений о взаимосвязи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием позволяет сформулировать два принципиально важных положения, которые должны учитываться в земледелии. Первое состоит в следующем: увеличение поступления в почву продуктов фотосинтеза в виде корневых выделений активизирует процессы азотфиксации, почвообразования и способствует в конечном итоге повышению ее плодородия, а также урожайности сельскохозяйственных культур. Второе: все структурные компоненты рассматриваемой системы находятся между собой в тесной взаимосвязи. Даже кратковременное подавление любого из них недопустимо.

В заключение следует отметить, что предлагаемый подход выводит наши представления о фотосинтезе, азотфиксации и почвообразовании на новый уровень. Объединение рассматриваемых процессов в рамках одной системы позволит более обоснованно контролировать и регулировать как ее состояние в целом, так и отдельных структурных компонентов. Системный

подход в отношении рассматриваемых процессов имеет большое значение не только для земледелия, но и, например, для экологии. Учет взаимовлияния фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования позволит более обоснованно прогнозировать состояние как биогеоценозов, так и биосферы в целом.

#### 6.4. Способы улучшения биологических свойств почвы

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет активизации естественного почвообразовательного процесса возможно только на основе улучшения биологических свойств почвы. В то же время, при относительной изученности отдельных видов живых организмов, обитающих в почве, мы имеем очень ограниченные сведения о их влиянии на рост и развитие растений. Исключение составляет только азотфиксирующая способность почв. На эту тему проведено множество исследований. Вот результаты некоторых из них. В опытах, проведенных на Центральной опытной станции ВИ-УА, установлено, что, используя бобовые в качестве предшественника, можно получать без применения азотных удобрений урожаи зерновых культур на уровне 50—60 ц/га [536]. В Институте сельскохозяйственной микробиологии и ТСХА выделены ассоциативные азотфиксирующие микроорганизмы, способные повышать продуктивность небобовых культур на 40% (табл. 54).

Таблица 54

#### Влияние инокуляции ассоциативными азотфиксаторами на урожай злаковых трав [56]

Вариант	Тимофеевка луговая		Овсяница тростниковая	
	Урожай сухой массы, ц/га	Прибавка, %	Урожай сухой массы, ц/га	Прибавка, %
Контроль	128,5	-	193,3	-
Arthrobacter sp. шт. 7	147,9	15,1	199,9	3,3
Aquaspirillum sp. шт. 9	135,8	5,7	208,4	7,7
Flavobacterium шт. Л-30	165,5	28,8	231,8	19,9

Предположения о возможности улучшения питания растений за счет ассоциативной азотфиксации, основанные на результатах лабораторных опытов, подтверждаются данными полевых исследований. В производственных опытах, проведенных в ТСХА, инокуляция растений огурца дала прибавку урожая зеленцов 22,7, томата — 31, а картофеля — 52— 78% [179]. Положительные результаты получены и при инокуляции зерновых культур. При обработке семян озимой пшеницы препаратом diaзотрофных микроорганизмов *Flavobacterium*, приготовленным в Институте сельскохозяйственной микробиологии, были получены высокие урожаи этой культуры при экономии 40—

50 кг/га азота удобрений. При этом содержание белка в зерне увеличивалось на 3—9%. Правда, следует отметить, что положительный эффект от инокуляции снижался в вариантах с полным исключением азотных удобрений [382]. Однако при использовании таких технологий, которые бы предусматривали одновременную активизацию как ассоциативной, так и симбиотической азотфиксации (например, за счет предшественника), этот вопрос, очевидно, не является неразрешимым. Такого же мнения придерживается и В.М. Орлов с соавторами [413].

Исключительный интерес для эколого-биосферного земледелия представляет изучение симбиоза бобовые растения — *Rhizobium* — эндомикоризные грибы. Как известно, эффективная работа азотфиксирующего аппарата клубеньковых бактерий во многом зависит от обеспеченности растений фосфором. А так как эндомикоризные грибы повышают доступность этого элемента для растений, то тройной симбиоз, в конечном итоге, значительно повышает их продуктивность (табл. 55). В других опытах этих же авторов у вики, инокулированной штаммами клубеньковых бактерий и эндомикоризных грибов, наблюдалось более раннее и более обильное цветение.

Таблица 55

**Влияние инокуляции эндомикоризными грибами  
и *Rhizobium* на продуктивность вики [371]**

Эндифит	Воздушно-сухая надземная масса, г/сосуд		Содержание азота в надземной массе, %		Содержание фосфора в надземной массе, мг Р/г	
	1	2	1	2	1	2
Без инокуляции	3,89	4,30	1,28	1,41	0,97	2,16
<i>G. mosseae</i>	4,13	5,16	1,38	1,69	1,81	2,38
<i>G. fasciculatum</i>	3,96	5,07	1,21	1,63	1,98	2,65
<i>Glomus</i> sp. 2	4,94	6,21	1,50	1,89	2,95	2,07
<i>Glo-</i> <i>mus</i> sp. 7 НСР <sub>0,95</sub>	5,50	5,80	1,50	1,74	2,15	2,22
	0,95	1,25	0,19	0,25	0,25	0,33

Примечание. 1 — без *Rhizobium*, 2 — инокуляция *Rhizobium*.

Необходимо отметить, что выращивание бобовых, наряду с решением проблемы азота в земледелии, при использовании их в кормопроизводстве, способствует нормализации протеинового питания сельскохозяйственных животных. Результаты научных исследований и практический опыт показывают, что одним из факторов, сдерживающих рост производства молока и мяса, является недостаток белка в рационах сельскохозяйственных животных. Он образуется в результате использования в кормопроизводстве однолетних и многолетних злаковых трав, кукурузы, подсолнечника, которые содержат недостаточное количество белка. Бобовые культуры значительно пре-



восходят все другие по содержанию белка и его сбору с единицы площади. Кроме того, белок бобовых отличается повышенной биологической полноценностью и усвояемостью [88]. Симбиоз с грибами-эндофитами повышает азотфиксирующую способность и у небобовых растений. В опытах с овсом эндомикоризные грибы увеличивали актуальную азотфиксирующую способность в ризосфере в среднем за вегетационный период в 6 раз [578]. Инокуляция семян редиса ризосферными бактериями *Pseudomonas fluorescens* и микоризация грибом *Glomus mosseae* повысили урожайность корнеплодов и позволили при этом уменьшить внесение минеральных удобрений в 1,5 раза [577]. Улучшение усвоения фосфора, ускорение развития растений и активизацию азотфиксации при симбиозе растений с грибами-эндофитами наблюдали и в других исследованиях [491].

Благотворное влияние микроорганизмов на растения создает основу для создания микробных удобрений, которые могут использоваться не только на бобовых, но и небобовых культурах. Так, замачивание семян люпина и тритикале в суспензии бактериального комплекса, приготовленного из естественного ненарушенного почвенного сообщества, повышало урожайность этих культур на 31% и более [252]. В опытах, проведенных В.П. Ивановым, инфицирование растений кукурузы комплексом корневой и ризосферной микрофлоры повышало урожай зеленой массы на 149—173% [202].

Положительное влияние на продуктивность растений оказывают и почвенные животные. Больше всего исследований проведено с дождевыми червями, являющимися удобным объектом для наблюдений. В опытах с использованием вегетационных сосудов (на 3—4 кг почвы) масса зерна ячменя в варианте с 10 червями по сравнению с контролем увеличилась на 58,5, с 20 — на 136,5, с 30 — на 219,5, с 40 — на 246,7, с 60 — на 311,7%. Аналогичный результат, хотя и менее выраженный, получен и в полевых исследованиях. Так, дождевые черви в количестве 400—500 экз./м<sup>2</sup> повышали продуктивность ячменя на 78—96% [34].

В опытах, проведенных за рубежом, заселение почвы пастбищ червями *Allolobophora caliginosa* (500—1000 экз./м<sup>2</sup>) повысило урожай сухого вещества трав на 70%. В некоторых странах дождевые черви стали использоваться для повышения плодородия почв. В Новой Зеландии это практикуется уже более 30 лет. В США имеется около тысячи мелких хозяйств, разводящих дождевых червей, которые используются для улучшения почв или производства биогумуса [438].

Одной из причин положительного влияния дождевых червей и других почвенных животных на рост растений является обогащение почвы экскрементами. Большая часть продуцентов, поглощенных фитофагами (до 75%), ими не усваивается. Невысока эффективность продуцирования и у детритофагов. Эффективность продуцирования — это доля потребленного вещества, которое включается в состав тканей организма. Она составляет 36,2—47,0% [62]. Следовательно, значительный объем потребленного животными органи-

ческого вещества проходит через их желудочно-кишечный тракт и превращается в экскременты. Они по химическому составу значительно отличаются от окружающей почвы. В копролитах дождевых червей pH более близка к нейтральной, а содержание органического вещества выше в 3 раза [227]. Откладываемые почвенными животными экскременты обогащены элементами минерального питания, необходимыми для растений, и продуктами жизнедеятельности микрофлоры. Опытным путем было установлено, что всхожесть семян помидор, высеянных в массу копролитов, увеличивается на 10% при сокращении времени появления всходов [227].

Переход значительных объемов вещества и энергии в экскременты почвенных животных имеет определенный смысл. Очевидно, это явление следует рассматривать как одно из проявлений свойств саморегуляции, которые позволяют экосистемам поддерживать свою устойчивость. Экскременты, попадающие в почву, служат источником энергии для многочисленных почвенных животных и почвообразовательного процесса. В результате образуется субстрат, пригодный для роста и развития продуцентов, которые, в свою очередь, используются фитофагами и детритофагами.

В просмотренной литературе была найдена только одна работа, в которой изучалась возможность повышений урожайности растений введением в почву мелких многоклеточных. Ее результаты также подтверждают возможность повышения плодородия почвы путем придания ей большей биогенности (табл. 56).

*Таблица 56*

**Влияние привносимых микроартропод (коллембол) в серую лесную почву на биометрические показатели растений овса [409]**

Показатель	Контроль	Биогенизация почвы микроартроподами	% к контролю
Высота растений, см	94,8	101,8	107,3
Диаметр стебля, мм	5,8	6,5	112,0
Площадь листа, см <sup>2</sup>	26,7	34,8	130,3
Масса корней, г	30,5	40,5	132,7
Масса зерна, г	73,9	96,8	130,9

Улучшают условия роста растений и почвенные простейшие. Например, амёбы и инфузории сдерживают развитие возбудителей гоммоза, вызывающих заболевание хлопчатника. Присутствие простейших в почве снижало количество зараженных гоммозом проростков хлопчатника с 64—108 до 21—30% [322].

Таким образом, биогенизация почвы является важнейшей задачей эколого-биосферного земледелия. В связи с этим большой интерес представля-

ют сведения о том, какие агротехнические приемы улучшают биологические свойства почвы. Лучшим из таких приемов является использование органических удобрений. Они обладают целым комплексом полезных свойств: повышают содержание в почве гумуса и элементов минерального питания (включая микроэлементы), улучшают физико-химические свойства почвы, из них более равномерно в течение всего вегетационного периода высвобождаются азот, фосфор и калий. Все это положительно отражается на росте и развитии растений. Главным достоинством навоза и торфонавозных компостов является высокое содержание органических веществ. Если сравнивать по энергетической емкости корма с навозом, то оказывается, что в отходах животноводства сконцентрировано до 50% энергии, поступившей в организм сельскохозяйственных животных. Вся она сосредоточена в органическом веществе, которое при попадании в почву эффективно вовлекается в процессы образования гумуса. Таким образом, на пашню с навозом возвращается половина энергии, усвоенной кормовыми растениями. Кроме того, в навозе содержится большое количество различных микроорганизмов. Как уже упоминалось, на поверхности растений обитают бактерии и микрогрибы, относящиеся к группе эпифитов. Их развитие чаще всего сдерживается недостатком питательных веществ. По мере того как потребленное животным растение (корм) подвергается измельчению, а затем перевариванию, из пищевой массы постепенно высвобождаются разнообразные питательные вещества, которые быстро усваиваются эпифитной микрофлорой, попавшей в желудочно-кишечный тракт животного вместе с кормом. Поэтому их численность в перевариваемой растительной массе многократно увеличивается. Интенсивному развитию микроорганизмов способствует достаточная влажность и постоянная температура.

Заселенность перевариваемой массы микроорганизмами резко возрастает и вследствие обогащения видового состава микроорганизмов специфичной микрофлорой, постоянно присутствующей в желудочно-кишечном тракте сельскохозяйственных животных. В результате всех этих процессов содержание микроорганизмов в навозе во много раз выше, чем в исходном растительном материале. При внесении его в почву микроорганизмы служат источником разнообразной по своим свойствам микрофлоры, пополняющей и корректирующей микробный пул [191,193]. Так, после внесения лошадиного или свиного навоза численность микроорганизмов в почве увеличивается в 2 раза [36]. Следовательно, внесение органических удобрений может использоваться в качестве приема, позволяющего возвращать почвенный микробценоз в исходное состояние после воздействия на него антропогенных раздражителей.

Вследствие присутствия в навозе микроорганизмов в нем накапливаются продукты их жизнедеятельности. Среди метаболитов, продуцируемых микроорганизмами, особого внимания заслуживают биологически активные вещества: витамины, ферменты, гормоны, антибиотики. Их появление объяс-

няется как выделительной активностью микроорганизмов, так и гибелью микробных клеток, плазма которых становится частью мертвого органического вещества. Биологически активные соединения и микроорганизмы, попадающие в почву с навозом, участвуя в биохимических превращениях, оказывают сильное воздействие на микроценоз. В его структуре уменьшается доля грибов из рода *Penicillium*, среди которых имеется много фитотоксичных форм, и, наоборот, увеличивается участие плесневых грибов из рода *Trichoderma*, оказывающих благоприятное воздействие на растения [236, 89]. Внесение 20 т/га навоза под предшественник зерновых культур сокращает численность конидий возбудителей корневых гнилей в 3—10 раз. При использовании органических удобрений непосредственно под зерновые культуры пораженность растений за счет усиления антагонистических свойств почвы по отношению к возбудителям корневых гнилей снижается на 10 — 15% [190].

В табл. 57 приведены данные о влиянии навоза на численность почвенных организмов. Их анализ показывает, что заселенность почвы при его внесении увеличивается по всем группам. Общая же численность беспозвоночных увеличивается более чем в 3 раза.

Таблица 57

**Численность почвенных организмов, тыс. на 1 га [562]**

Организмы	Не удобрено	Удобрено
Насекомые	6200	1930
Нематоды	1990	9000
Многоножки	2100	4480
Малощетинниковые черви	1145	2513
Паукообразные	590	1380
Ракообразные	84	202
Моллюски	33 11	36
Итого:	852	36 201

Органические удобрения повышают и азотфиксирующую способность почв. В опытах, проведенных в белорусском Институте почвоведения и агрохимии, при внесении навоза и торфонавозных компостов она возрастала на 7—62%. Увеличение численности и активности азот-фиксирующих микроорганизмов связывают с поступлением биологически активных веществ, содержащихся в органических удобрениях, или с усилением их синтеза в почве [235, 365]. Влияние навоза на несимбиотическую азотфиксацию изучали в ТСХА. Там было установлено, что при его внесении в количестве 30 т/га активность биологического связывания азота в ризосфере растений увеличивается в 2—4 раза [178].

Приведенные примеры показывают, что роль органических удобрений

в земледелии не ограничивается обогащением почвы азотом, фосфором, калием и другими элементами. Их следует рассматривать и как биологический катализатор почвенных превращений, улучшающих минеральное питание растений. Обоснованность такого заключения подтверждают данные о последствиях органических удобрений. По обобщенным данным, оно прослеживается на протяжении 6—8 лет на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, 11—12 и даже 16—18 лет — на черноземах [94]. Такое действие органических удобрений на последующие культуры севооборота не может быть объяснено только поступлением в почву макро- и микроэлементов.

Вместе с тем, отмеченные достоинства органических удобрений пока еще не используются в полной мере ввиду особенностей современного животноводства. Как справедливо отмечает Я.Я. Яндыганов [614], курс на концентрацию и специализацию этой отрасли привел к созданию крупных комплексов. Их строительство потребовало создания соответствующей системы удаления навоза, основанной на гидросмыве. Намереваясь увеличить объемы производства продукции животноводства, мы пренебрегли проблемами утилизации и переработки животноводческих стоков, на долю которых приходится 65% от общего объема выхода животноводческих отходов [225]. В результате было потеряно огромное количество органических удобрений, которые могли бы использоваться для повышения плодородия почв. Значительная часть жидкого навоза стала источником загрязнения водных объектов. Такие же проблемы возникли и в птицеводстве. По мнению Я.Я. Яндыганова, эти примеры наглядно показывают, что в современном сельском хозяйстве произошел разрыв связей в объективно возможной системе "животноводство — растениеводство", что является причиной возникновения эколого-экономических проблем.

При изучении влияния жидкого навоза на плодородие почв и урожайность культурных растений было установлено, что он по своему действию приближается к минеральным удобрениям, что объясняется хорошей доступностью питательных веществ. При этом у жидкого навоза по ряду причин существенно изменяется способность влиять на почвенную микрофлору. Однако она может быть восстановлена. С этой целью навоз должен подвергаться компостированию. Основными компонентами для приготовления компостов служат торф и солома. После их перемешивания с жидкими навозными стоками в буре усиливается микробиологическая деятельность, многократно увеличивается численность микроорганизмов, органическое вещество подвергается интенсивной биохимической трансформации, и поэтому компосты по своему действию не уступают подстилочному навозу.

Ежегодное применение органических удобрений в России в последние годы постоянно снижается (табл. 58). В то же время большое количество отходов животноводства у нас теряется. При переходе на эколого-биосферное земледелие это недопустимо. Поскольку в природоохранном земледелии органическим удобрениям отводится очень важная роль, необходимо бережное

к ним отношение и рациональное использование. Видимо, при существующих организационных формах сельскохозяйственного производства в каждом достаточно крупном хозяйстве должны быть небольшие специализированные подразделения, занимающиеся хранением, переработкой и внесением органических удобрений. Только в этом случае их предназначение будет полностью реализовано.

Таблица 58

**Внесение органических удобрений в России [475]**

Показатель	Годы					
	1970	1980	1990	1993	1994	1995
Всего, млн. т	203,7	380,7	389,5	241,2	164,2	127,4
На гектар пашни, т	1,7	3,1	3,5	2,6	1,8	1,4

Большое значение, особенно при недостатке навоза и при большом удалении полей от животноводческих помещений, в эколого-биосферном земледелии должно отводиться зеленому удобрению. По содержанию питательных веществ оно практически не уступает другим органическим удобрениям. Ниже приведена удобрительная ценность наиболее распространенных сидеральных культур (табл. 59).

Табличные данные показывают, что при заделке сидератов в почву поступает в среднем 100—200 кг/га азота. Суммарное поступление элементов минерального питания равноценно внесению примерно 30 т/га навоза. Обобщение результатов исследований позволяет сделать заключение, что при использовании сидеральных удобрений урожайность культурных растений по сравнению с контрольными вариантами повышается примерно на 50%.

Действие сидератов на почву и населяющих ее живых организмов во многом схоже с навозом. Они улучшают структуру почвы. В ней снижается доля крупных агрегатов размером более 10 мм и на 5—10% повышается присутствие водопрочных агрегатов [489]. Улучшая физико-химические свойства почвы, зеленое удобрение повышает ее биогенность. По сведениям К. И. Довбана, изучавшего различные аспекты сидерации, запашка люпина способствовала увеличению численности бактерий в 2—3 раза. В благоприятную сторону изменялись и другие показатели, характеризующие биологические свойства почвы. Интенсивное развитие микроорганизмов после заделки растений обусловлено поступлением в почву большого количества органического вещества с узким соотношением C : N [168].

**Сравнительная характеристика  
удобрительной ценности сидеральных культур [543]**

Культура	Накоплено биомассы, ц/га		Содержится в общей биомассе питательных веществ, кг/га			Эквивалент подстилочному навозу, т
	Зеленая масса	Корневые остатки	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Люпин однолетний	526	80	231	63	209	37
Донник желтый:						
1-й год жизни	187 3	41 1	104 2	38	155	22
2-й год жизни	34	72	30	72	310	45
Донник белый:						
1-й год жизни	183	50	113	46	142	22
2-й год жизни	420	120	251	96	299	49
Горох кормовой	219	85	117	71	215	30
Вика	257	54	160	73	201	32
Сераделла	402	38	116	53	222	29
Редька масличная	462	23	86	66	248	30
Сурепица	343	101	135	55	241	32

Наряду с обогащением почвы органическим веществом и минеральными элементами, сидерация может служить прекрасным приемом, позволяющим регулировать структуру педосенозов. Под влиянием зеленого удобрения в почве увеличивается численность антагонистов возбудителей ризоктониоза и парши картофеля. При заделке зеленой массы горчицы в пахотном слое в несколько раз возрастает численность грибов сдерживающих развитие корневых гнилей зерновых культур. В результате пораженность растений ячменя и озимой пшеницы этими заболеваниями при выращивании их по запаханным сидератам снижается в 1,5—1,7 раза [316]. Следовательно, сидеральные культуры являются важным фактором, ограничивающим развитие фитопатогенных микроорганизмов. Это свойство зеленого удобрения, очевидно, можно усилить, если использовать растения, в которых содержатся какие-либо вещества (сапонины, кумарины, алкалоиды, гликозиды, органические кислоты), избирательно влияющие на живые организмы.

Сидеральные культуры должны использоваться и для подавления сорной растительности. По мнению В.Г. Лошакова, введение их в состав севооборотов снимает вопрос о необходимости применения гербицидов. По его данным, при использовании сидератов в плодосменных севооборотах засоренность первой культуры, картофеля, снижалась на 61%, а второй, ячменя, — на 30% [316].

К одним из лучших сидеральных растений относится люпин. Он дает высокие урожаи надземной массы, имеет глубоко проникающую корневую систему, хорошо произрастает на почвах с повышенной кислотностью, обла-

дает способностью усваивать труднодоступные для других растений минеральные соединения фосфора. Общим достоинством бобовых является то, что они могут выращиваться без использования азотных удобрений. При их заделке в почву попадает большое количество азота, содержащегося в корнях и вегетативных частях растений.

Так же, как и навоз, зеленое удобрение обладает длительным последствием. В опытах, проведенных на кафедре растениеводства Свердловского сельскохозяйственного института, последствие сидерата прослеживалось в течение трех лет [286].

Перспективной сидеральной культурой, позволяющей эффективно использовать осенние месяцы вегетационного периода, является рапс. Растения ярового рапса хорошо переносят кратковременные заморозки до  $-8^{\circ}\text{C}$ . При наступлении теплых дней они возобновляют свою вегетацию и наращивают массу до глубокой осени [616].

Все сидераты можно использовать в качестве поукосных, пожнивных, а еще лучше подсевных культур. Это выгодно с разных точек зрения. При подсеве сидератов в посевы других растений повышается гетерогенность агрофитоценоза, более эффективно используются факторы окружающей среды, а за счет зеленого удобрения повышается плодородие почвы.

Все перечисленные достоинства сидеральных культур очевидны. Их выращиванию уделяется большое внимание во многих странах. А в таких, как Китай и Индия, сидеральные посевы занимают, соответственно, 13 и 6 млн. га [390]. В России, за редким исключением, зеленое удобрение практически не используется. Но при переходе на эколого-биосферное земледелие роль сидератов многократно увеличивается, и они должны стать одним из наиболее эффективных способов повышения биогенности и плодородия почв.

Не менее важная роль, чем органическим удобрениям, в экологическом земледелии должна отводиться посевам многолетних трав. Их значение заключается в том, что они превосходят все другие культуры по массе корневых и подземных остатков. Клеверо-тимофеечная смесь обеспечивает накопление в почве 53,8—63,4 ц/га свежего органического вещества (в абсолютно сухой массе), что в 2 раза больше, чем кукуруза или овес [204]. Поступление в почву большого количества органического вещества способствует бурному размножению живых организмов самых различных групп. По сообщениям зарубежных специалистов, в почве под многолетними травами был обнаружен 51 вид диатомовых водорослей, в то время как под посевами однолетних культур — только 23 вида [532]. В наблюдениях российских ученых численность микроартропод в почве под озимой пшеницей и сахарной свеклой составила, соответственно, 19 000 и 15 230 экз./м<sup>2</sup>, а под клевером — 26 810 экз./м<sup>2</sup> [19].

Весьма положительно влияют многолетние травы на дождевых червей. Уже на второй — третий годы после залужения численность этих животных



увеличивается в 2,5—3 раза. При этом если в почве под однолетними культурами встречается только один вид, то под многолетними травами 4—5 видов [30]. Общая численность крупных беспозвоночных под многолетними травами в два с лишним раза выше, чем под пропашными культурами [8].

Экологическое значение многолетних трав состоит и в том, что они существенно сокращают миграцию биофильных элементов из агробиогеоценозов. При выращивании пропашных культур из почвы за вегетационный период в среднем вымывается до 34 кг/га азота, зерновых культур — до 22, а на лугах — только 5 кг/га [447]. Аналогичные данные имеются и в отношении Р, Са, К и Mg. Уменьшение выноса биофильных элементов из агрофитоценозов имеет двоякое значение: во-первых, за счет биологического удерживания многолетними травами макро- и микроэлементов в пахотном горизонте улучшается минеральное питание растений; во-вторых, значительно сокращается поступление биофилов в водоемы и грунтовые воды.

В эколого-биосферном земледелии мощным фактором, повышающим плодородие почв, должны стать многолетние бобовые травы. По расчетам Е.П. Трепачев и Л.Д. Алейниковой, за три года жизни клевера в почве накапливается 222,9 кг/га азота. Это позволяет без применения азотных удобрений получать урожай озимой пшеницы на уровне 50—60 ц/га [535, 536].

К способам, повышающим биогенность почвы и содержание в ней органического вещества, относится внесение соломы зерновых и зернобобовых культур. Этот прием практически не применяется в нашей стране. Но его эффективность очень высока. Внесение 1 т соломы по действию на свойства почвы равноценно 3—4 т хорошего навоза. Одна из причин недооценки соломы как органического удобрения состоит в следующем. В ряде ранее проведенных опытов заделка солоmistых растительных остатков не повышала урожайность сельскохозяйственных культур. Однако позднее было установлено, что отрицательные результаты были получены вследствие неправильного использования соломы. Оказывается, при глубокой заделке растительных остатков в процессе разложения образуются летучие жирные кислоты и различные фенольные соединения, которые отрицательно влияют на растения. Если же солома вносится в верхний слой почвы, то она разлагается без появления значительных количеств вредных веществ [361, 204]. Равномерное распределение соломы по поверхности почвы создает благоприятный гидро-температурный режим. Вследствие этого появляются условия для удлинения периода биологической активности многих видов живых организмов [478]. Особенно большое значение поверхностное внесение соломы имеет в засушливых районах.

Одним из условий эффективного использования соломы и других органических удобрений является оптимальное отношение С : N. Под ним понимается такое содержание этих элементов, при котором они будут полностью, без остатка, ассимилированы биотой почвы. Наилучшее отношение С : N равно 15—25:1 [183]. Если в органических удобрениях, как, например, в

соломе зерновых культур, на фоне высокого содержания углерода мало азота (широкое отношение  $C : N$ , 70—100:1), то он очень быстро и полно усваивается микроорганизмами, закрепляется таким образом в их плазме и становится на некоторое время недоступным для растений. При этом минеральные формы почвенного азота частично переходят в разлагающийся материал [263], что является одной из причин возможного кратковременного ухудшения азотного питания растений после внесения соломы и даже небольшого снижения урожайности. Это может наблюдаться в течение первых од-ногод-двух лет. Однако затем появляется устойчивая тенденция роста урожайности [587]. В то же время, если использовать солому зернобобовых, то последующие культуры не будут испытывать недостатка в азоте [360]. Это объясняется узким отношением  $C : N$ , которое обуславливает появление в почве доступных для растений минеральных форм азота, образующихся в результате разложения соломы. Но следует учитывать, что при очень узком отношении  $C : N$  (как у навоза) увеличивается вероятность появления газообразных потерь почвенного азота. Поэтому самым эффективным способом использования навоза и соломы является внесение их в виде соломистого навоза. Он получается путем перемешивания в определенных пропорциях компонентов или путем использования соломы в качестве подстилки. Именно так утилизировали побочные продукты животноводства и растениеводства наши предки.

Внесение соломы благоприятно влияет на физико-химические и биологические свойства почвы. В процессе ее минерализации образуются гумусовые вещества, из каждой тонны соломы — 170—190 кг [361, 204]. Регулярная заделка соломы в положительную сторону для культурных растений изменяет структуру педоценоза. В нем преимущественное развитие получают сапрофитные грибы, которые постепенно вытесняют полупаразитные формы [361].

Очень хорошо реагируют на заделку соломы злаковых культур бобовые растения. Их азотфиксирующая способность увеличивается при этом почти в два раза. Считается, что внесение 1 т соломы способствует биологическому закреплению 5—12 кг молекулярного азота [363, 360].

Целесообразность использования перечисленных приемов, улучшающих биологические свойства почвы, а следовательно, и ее плодородие не вызывает ни у кого сомнений. Этого не скажешь в отношении одного из главных вопросов земледелия — способах обработки почвы. На сегодняшний день существует две противоположные точки зрения. Одна предполагает ежегодную вспашку почвы с оборотом пласта, другая — применение безотвальной или поверхностной обработки. До настоящего времени не утихают научные дискуссии на эту тему. В спорах между сторонниками того и другого направления в качестве аргументов выдвигаются самые различные положения [586]. Но пока еще не уделяется должного внимания тому, как способы обработки почвы влияют на ее население и почвообразовательный процесс. В эколого-биосферном земледелии этот вопрос имеет очень большое

значение, поэтому и в него необходимо внести ясность.

Воздействие обработки на биоту проявляется через изменение физико-химических свойств почвы. Во многих исследованиях было установлено, что они не ухудшаются при замене вспашки на щадящие обработки [539]. Сохраняются параметры таких показателей, как плотность и структура почвы. В стационарных опытах, проведенных в НИИСХ ЦРНЗ, поверхностная обработка повышала водопроницаемость. В варианте со вспашкой скорость впитывания воды на 6-й год ротации составила 0,221 мм/мин, 8-й год — 0,093, а на фоне длительной поверхностной обработки — соответственно, 0,298 и 0,113 мм/мин. Улучшение фильтрационных показателей связывают с сохранением в не затрагиваемых обработкой слоях почвы ходов червей, а также ходов, остающихся после разложения корней [488]. Повышая скорость просачивания воды, естественные пространства поддерживают и внутрисочвенный воздухообмен. При щадящих обработках почвы на ее поверхности сохраняются растительные остатки. Это защищает верхние слои от перегрева и способствует сохранению влаги. Итак, физико-химические свойства почвы, а другими словами, условия обитания почвенной биоты при поверхностной обработке приближены к естественным. Вспашка, в отличие от безотвальной или поверхностной обработки, изменяет водный, тепловой и газовый режимы почвы, а значит, и условия обитания всех групп и видов живых организмов. Сильнейшим раздражителем почвенной биоты является систематическое переворачивание пласта почвы. Большая часть живых организмов, населяющих нижние слои пахотного горизонта, при выносе на поверхность попадает в крайне неблагоприятные для них условия и вымирает или переходит в неактивное состояние. То же самое происходит с организмами, обитающими у поверхности почвы, когда они попадают в нижние горизонты. Почвенная экосистема, выведенная из устойчивого состояния, сохраняет способность к возвращению на прежний уровень. Однако для этого необходим длительный период, в течение которого, очевидно, происходит замедление скорости почвообразовательных процессов. С этих позиций вспашка, как прием обработки почвы, может быть использована в эколого-биосферном земледелии в весьма ограниченных масштабах.

Результатом длительной поверхностной обработки почвы является выраженная дифференциация ее горизонтов. Постоянное поступление растительных остатков в верхние слои создает условия для накопления там органического вещества и активной микробиологической деятельности. Многие считают, что благодаря этому в почве образуются гумусовые вещества. По данным Н.К. Шикеры, коэффициент гумификации соломы и навоза при их неглубокой заделке в 8—11,3 раза больше, чем при вспашке [586]. В подтверждение своей точки зрения он приводит мнение других исследователей, которые также считают, что активная микробиологическая деятельность в верхних слоях почвы и ее дифференциация на горизонты с разным уровнем плодородия "есть не что иное, как естественный процесс почвообразования,

который не следует затормаживать вспашкой, а стимулировать соответствующими системами обработки" [234].

В результате изучения микробиологических аспектов формирования плодородия почв И.С. Востров также пришел к выводу о преимуществе поверхностных обработок по сравнению со вспашкой. В своих опытах он наблюдал значительно большее образование гумусовых веществ при размещении растительных остатков в верхнем слое. Это объясняется тем, что минерализация органического вещества в аэробных условиях происходит без образования летучих соединений. При попадании растительных остатков в анаэробные условия они подвергаются брожению с образованием уксусной, пропионовой и масляной кислот, которые к тому же токсичны для высших растений. Поэтому для повышения гумусированности почв он рекомендует размещать органические удобрения в поверхностных горизонтах, где поддерживаются аэробные условия. В соответствии с результатами его наблюдений неглубокая заделка органического вещества способствует развитию сапрофитов, которые сдерживают размножение микроорганизмов, вызывающих корневые гнили зерновых культур [119].

Однако следует отметить, что дифференциация пахотного слоя приводит к тому, что на глубине более 10—12 см формируются менее плодородные почвенные горизонты. Они характеризуются низкой микробиологической активностью, меньшим содержанием элементов минерального питания. Это является одним из существенных недостатков поверхностной обработки почвы. Для его устранения необходимо увеличить поступление органического вещества в почву за счет физиологических свойств растений, за счет внесения навоза, соломы, сидератов, возделывания многолетних трав, а также усиления процессов биологической фиксации азота. Обогащение почвы органическим веществом позволит улучшить корневое питание растений не только азотом, но и другими элементами. Так, установлено, что образование доступных для биоты фосфатов определяется содержанием в почве растительных остатков [558]. То есть на сегодняшний день имеется достаточное количество приемов, которые можно использовать для активизации почвообразовательного процесса в нижних почвенных горизонтах и которые в обязательном порядке должны применяться при переходе на поверхностные обработки.

В исследованиях, проведенных за рубежом, также было установлено, что при применении поверхностных обработок микробиологическая активность в верхних слоях почвы была значительно выше, чем на участках с плужной обработкой. Кроме того, ими были обнаружены сильные различия между изучаемыми вариантами в заселенности почв дождевыми червями. На делянках, подвергавшихся поверхностной обработке, их было 45, а глубокой — только 5 шт./м<sup>2</sup>. По мнению исследователей, проводивших этот эксперимент, лучшие биологические свойства почв на участках, обрабатываемых фрезерной сеялкой, явились причиной большей водопрочности почвенных

агрегатов [622].

На повышение численности беспозвоночных при безотвальной обработке почвы обращали внимание и российские ученые. Ими также было отмечено, что щадящая обработка благоприятно влияла на численность дождевых червей [603], которые осуществляют биологическое рыхление почвы. Понятно, что эта функция червей и других почвенных животных имеет очень большое значение при использовании поверхностных обработок.

Заметно способ обработки почвы влияет на энтомофауну агрофитоценозов. Чаще всего встречаются сведения о изменении заселенности посевов хищными насекомыми. На посевах озимой пшеницы, посеянной по безотвальной обработке, общая численность жужелиц оказалась на 18—22% выше по сравнению с участками, где применялась отвальная вспашка. Аналогичные данные получены при обследовании посевов ячменя. При посеве этой культуры по зяби за весь вегетационный период было поймано 518 экз. жуков (на 10 земляных ловушек) и почти вдвое больше (968 экз.) при посеве по поверхностной обработке [243]. На посевах гороха при безотвальной обработке количество хищных жужелиц вида *Pterostichus cupreus* L. было на 32,9% выше, чем по отвальной вспашке [80]. Поверхностная обработка повышала также численность хищных клещей и коллембол [263].

Большой интерес, в плане повышения биогенности почвы, вызывает нулевая обработка. При ней почва в течение всего года остается в ненарушенном состоянии, а посев производится в узкие профрезерованные полосы шириной 3—5 см. Растительные остатки, сохраняющиеся на большей части поверхности почвы, служат постоянным источником питательных веществ, а также средой обитания для разного рода микроорганизмов и почвенных животных. В этих условиях на протяжении всего вегетационного периода хорошо сохраняются все внутрипочвенные связи, а значит, и не затухает почвообразовательный процесс.

Преимущество нулевой обработки почвы заключается и в том, что при сокращении количества проходов агрегатов по полю почва меньше уплотняется и сохраняет свою структуру. Последствия воздействия машинных агрегатов на почву раскрыты в работе В.Н. Слесарева и Н.В. Абрамова [505]. Этот показатель имеет очень большое значение для почвенного населения. Уплотнение почвы затрудняет или даже делает невозможным перемещение животных, изменяет и многие другие необходимые для жизни условия. Так, в результате уплотнения почвы при двух-трехкратном проезде колесного трактора численность беспозвоночных сокращается в 1,7 раза [67].

По мнению зарубежных исследователей, нулевая обработка почвы должна обеспечивать более высокий урожай, чем вспашка. Однако ее преимущества в полной мере могут проявиться только при длительном применении [410, 271, 263]. Такую же позицию в отношении бесплужной обработки занимает Н. К. Шикула. По его сведениям, прибавка урожая по плоскорезной обработке, по сравнению с отвальной вспашкой, в первой ротации сево-

оборота составила 3,6, во второй — 6,6, в третьей — 9,2 ц/га [585, 586].

Экологическое значение безотвальной обработки почвы просматривается и в снижении выноса с сельскохозяйственных территорий биогенных элементов, вызывающих эвтрофирование водоемов. По обобщенным данным, вынос с поверхностным стоком минеральных элементов с зяби в 3—4 раза больше, чем с участков, на которых применялась безотвальная обработка [378].

### **6.5. Севооборот и его значение в эколого-биосферном земледелии**

Исторический анализ использования различных севооборотов показывает, что к концу XIX в. ввиду расширения потребности в различных культурах, используемых как на продовольственные, кормовые, так и технические цели в земледелии получили распространение плодосменные севообороты. Они позволяли выращивать сельскохозяйственные растения с минимальным отрицательным воздействием на плодородие почвы. По мере увеличения объемов производства и применения средств химизации, а также специализации и концентрации сельского хозяйства севообороты претерпели существенные изменения. Они стали максимально насыщаться культурами, пользующимися наибольшим спросом. Некоторые хозяйства вообще перешли к монокультуре. Но бессменное и повторное выращивание сельскохозяйственных культур становится причиной возникновения многих проблем [57]. Одной из них является распространение заболеваний (табл. 60). По сведениям В.А. Чулкиной, при выращивании зерновых культур в течение одного года поражение растений корневыми гнилями составило 8%, в течение 2—4 лет — 23, 4—5 лет — 75% [574].

Распространение корневых гнилей в севооборотах с большим насыщением зерновыми культурами выявлено во всех регионах страны. Вышеприведенные данные получены на Урале. В Сибири насыщение севооборота зерновыми культурами до 75% повышало численность патогена в почве в 2—3 раза, а распространение болезни — в 1,3 раза [574].

Усиление поражения зерновых культур корневыми гнилями при упрощении севооборотов происходит в результате нарушения структуры почвенного микробиоценоза. В нем происходит сильная перестройка бактериальных комплексов, ведущая к активизации возбудителей болезни (табл. 60).

Уменьшение численности отдельных видов бактерий при бессменном выращивании сельскохозяйственных культур отмечено и в других исследованиях [56, 57, 58, 521]. После 18-летнего бессменного выращивания пшеницы присутствие в почве высокоактивных бактерий рода *Arthrobacter* снижалось с 54 до 26%, а бактерий с высокой ферментативной активностью — с 68—72 до 41—48%. В отдельных случаях количество микроорганизмов при монокультуре, по сравнению с севооборотом, может уменьшаться в 200 раз

**Пораженность пшеницы корневыми гнилями  
в зависимости от ее удельного веса в севообороте [272]**

Доля пшеницы, %	Урожай- ность, ц/га	Распространение корне- вых гнилей по фазам, %		Развитие корневых гнилей по фазам, %	
		всходы — кущение	молочная спелость	всходы — кущение	молочная спелость
25	39,0	8,8	34,5	0,13	6,4
50	38,1	12,8	34,5	0,24	8,3
100	33,5	16,0	60,0	0,30	19,2

Бессменное выращивание сельскохозяйственных культур способствует размножению в почве микроорганизмов, оказывающих вредное воздействие на растения. При монокультуре люпина доля фитотоксичных актиномицетов достигает 42,8—80,0%, в то время как при размещении его в севообороте она составляет только 16,4—24,1%. При бессменном выращивании люпина в почве в 3—4 раза увеличивается численность фитотоксичных грибов [242]. Под озимой пшеницей, размещенной в севообороте, доля фитотоксичных грибов от их общего количества равнялась 20%, а под бессменными посевами — 41% [377]. Следовательно, повторные посевы, а тем более монокультура, изменяя состав микрофлоры, так же как и средства химизации, являются столь же мощным экологическим фактором, влияющим на направленность почвенных микробиологических превращений. По этому поводу О.А. Берестецкий отмечал, что монокультура оказывает специфическое влияние на качественное разнообразие микрофлоры. В этом случае в почву на протяжении ряда лет поступает однородный растительный материал. В ней сокращается разнообразие активно метаболизирующих форм микроорганизмов, обедняется и перестраивается видовой состав бактерий грибов и актиномицетов. В бессменных посевах в неблагоприятную сторону для развития растений изменяются и свойства микробных сообществ (табл. 61). В индустриально технологических системах земледелия эти недостатки компенсировались, но не устранялись применением средств химизации.

Наиболее типичным и известным примером недооценки значения севооборота служит выращивание сахарной свеклы в Центрально-Черноземной зоне и хлопка в Средней Азии. Возникающие при этом проблемы (ухудшение плодородия почвы, распространение вредителей, болезней и сорняков) решались обычным способом — внесением все возрастающих доз минеральных удобрений и применением постоянно расширяющегося спектра пестицидов. В результате состояние окружающей среды в этих регионах достигло критического уровня [467].

Таблица 61

**Особенности бактериальных комплексов в почве под ячменем  
при бесменном выращивании в севообороте,  
% к общему количеству бактерий в почве [109]**

Способ выращивания	Показатель, характеризующий микробные комплексы					
	Бактерии					
	растущие на мине- ральном азоте	разжи- жающие желатин	пептони- зирующие молоко	с высокой каталазной активностью	восста- навли- вающие нитраты	токсич- ность грибов
Бесменно В севообо- роте	34	34	33	58	41	18,8
	58	51	65	71	27	1,8

В эколого-биосферном земледелии упрощение севооборотов, а тем более недооценка их значения недопустимы. Это просто не позволит полностью раскрыть его потенциал. В природоохранном земледелии севооборот должен обеспечивать максимально возможную продуктивность, определяемую с учетом соблюдения экологических требований: полное использование питательных веществ, содержащихся во всех почвенных горизонтах; улучшение физико-химических и, что очень важно, биологических свойств почвы; активизацию почвообразовательного процесса; защиту почв от водной и ветровой эрозии; предотвращение выноса биофилов из агроландшафта, а также развитие и распространение сорняков, вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур.

Для выполнения этих требований необходимо прежде всего расширить видовой состав культур, включаемых в севооборот. Очевидность этого давно уже является земледельческим каноном. Но он так глубоко забыт, что в 90-х гг. XX столетия потребовались дополнительные наблюдения, подтверждающие его незыблемость (табл. 62).

Приведенные данные показывают, что рост численности фитотоксичных видов микроорганизмов сопровождается увеличением токсичности почвы. Это может быть причиной ухудшения прорастания семян, задержки роста и развития растений и снижения их продуктивности, о чем свидетельствуют результаты наблюдений. Поэтому доля зерновых и овощных культур в структуре посевных площадей, с фитопатологической точки зрения, не должна превышать 50, сахарной свеклы — 27—33, подсолнечника (на семена) — 10—15% [574]. Осторожно следует относиться и к насыщению севооборотов зернобобовыми. Их участие не должно превышать 25—30% [219].



**Некоторые показатели состояния почвенной среды  
и продуктивность севооборотов с различным  
соотношением культур [315]**

Набор культур	Токсичность почвы, % к ингибированию роста проростков	% фитотоксичных		Продуктивность, т.к.е./га
		грибов	бактерий	
Бессменные посевы	12,9—14,8	38-46	11—16	1,1—1,5
Чередование двух культур:				
из одного семейства	10,6—12,1	40—42	9—16	1,3—1,4
из двух семейств	3,7—8,99	23—31	5—8	2,1—3,6
Чередование четырех культур:				
из двух семейств	0,8—6,5	23—42	8—10	2,3—3,7
из трех семейств	0,1—1,7	25—36	4—5	3,1—3,9

В эколого-биосферном земледелии должны использоваться севообороты, в состав которых включены растения, различающиеся по своим морфо-биологическим характеристикам. Этому требованию в большей мере соответствуют плодосменные севообороты. На необходимость их использования обращает внимание и Е.К. Саранин [487]. Для поддержания плодородия почвы он также рекомендует при составлении севооборотов включать многолетние травы, бобовые и сидеральные культуры, шире использовать внесение органических удобрений. С его предложениями нельзя не согласиться. Но при этом следует добавить, что чередование растений должно учитывать их различную потребность в элементах минерального питания и устойчивость к эрозии и к сорнякам. Кроме того, предпочтение следует отдавать культурам, которые не требуют многократной обработки почвы. Необходимость соблюдения этого положения вызвана тем, что интенсивное механическое воздействие на почву ускоряет минерализацию органического вещества, снижает коэффициент гумификации, ее устойчивость к эрозионным процессам. В результате воздействия на почву ходовых систем уплотняются ее нижние горизонты. Это отрицательно влияет на характеристики почвы как среды обитания живых организмов. Ухудшается аэрация, фильтрация, усложняется миграция почвенных животных из-за уменьшения размеров поровых пространств. Все это приводит к снижению заселенности почвы и, следовательно, замедлению почвообразовательного процесса. В то же время умеренная обработка почвы сдерживает эрозионные процессы, повышает коэффициент гумификации, создает благоприятные условия для размножения многих видов почвенных животных.

Классические примеры плодосменных севооборотов приводит Д.Н. Прянишников [459]. В них сохраняется паровое поле, 50% отводится под

хлеба, 25 — под травы и 25% под пропашные культуры. Примерно такое же соотношение должно сохраняться и в эколого-биосферном земледелии. Однако доля пропашных культур, которые, как правило, требуют внесения минеральных удобрений, интенсивной обработки почвы и значительно уступают в конкурентных отношениях сорнякам, должна уменьшаться. Дополнительно в севооборот следует включать зернобобовые, крупяные или другие культуры в соответствии с потребностями рынка.

При составлении севооборотов в эколого-биосферном земледелии большое внимание должно уделяться кормовым культурам. При этом они должны рассматриваться с различных сторон. Не только как кормовое средство и как фактор, воздействующий на плодородие почвы, но и как источник навоза. Это отмечал еще А.Т. Болотов. Он писал: "Соблюдение должной пропорции между скотоводством и хлебопашеством есть главнейший пункт внимания сельского хозяйства. Сии две вещи так между собою связаны, что если одна упущена будет, то неминуемо нанесет вред и другой" (цит. по [52]). Под этим он понимал, что растениеводство должно обеспечивать животноводство кормами, а животноводство, в свою очередь, обеспечивать растениеводство навозом, который возвращает плодородие почвам.

В соответствии с требованиями, которые предъявляются в эколого-биосферном земледелии к чередованию культур, далее приводится примерная схема полевого севооборота (табл. 63).

Таблица 63

**Примерная схема севооборота,  
рекомендуемая для эколого-биосферного земледелия**

<b>Звено севооборота</b>	<b>Приемы повышения плодородия почвы</b>	<b>Ожидаемый эффект</b>
Паровое: пар озимая рожь зерновые	Внесение навоза, соломы, заделка сидератов, использование бактериальных удобрений, усиливающих ассоциативную азотфиксацию	Обогащение почвы органическим веществом, элементами минерального питания, улучшение ее физических и биологических свойств
Зернобобовое: зернобобовые зерновые + мн. травы мн. травы 1- 2-го года	Использование бактериальных удобрений, усиливающих ассоциативную и симбиотическую азотфиксацию	Обогащение почвы органическим веществом, азотом, улучшение ее структуры, повышение биогенности
Плodosменное: зерновые крупяные масличные сидеральные фуражные	Использование соломы, сидератов и бактериальных удобрений, усиливающих ассоциативную азотфиксацию	Обогащение почвы органическим веществом, повышение ее биогенности

Анализ предложенной схемы чередования культур показывает, что даже без применения минеральных удобрений использование всего комплекса приемов, направленных на повышение плодородия почвы, позволит получать в первой ротации севооборота урожай зерновых культур на уровне 20 и более ц/га. В последующем можно прогнозировать его увеличение. Основанием для такого заключения служит регулярное обогащение почвы органическим веществом, что закономерно ведет к улучшению ее физико-химических и биологических свойств, а также активизации почвообразовательного процесса. Важным резервом в увеличении урожайности культур севооборота должно стать и использование растений с повышенной выделительной функцией корневых систем. Это также будет способствовать обогащению почвы органическим веществом.

## **6.6. Агрофитоценоз и основные подходы к его формированию**

Первым ощутимым вмешательством человека в природу стало превращение естественных фитоценозов в искусственные. Первоначально в культуру вводились растения местной флоры. Их биологические особенности практически полностью соответствовали почвенно-климатическим условиям того района, где они выращивались. Поэтому земледельцу не нужно было прилагать значительных усилий на доведение параметров окружающей среды до оптимальных значений. Агрофитоценозы, создаваемые ранними земледельцами, во многом сохраняли свойства естественных экосистем. Они занимали небольшие участки, и вся площадь находилась в зоне влияния окружающих их природных сообществ. Культивируемые растения имели богатый генетический материал, накопленный в процессе длительной эволюции. В состав агрофитоценозов входили не только культурные растения, но и представители дикой флоры. По предположениям В.В. Туганаева, их участие достигало 15—20% [541]. Полностью сохранялась структура педоценозов, так как почва не подвергалась интенсивной механической обработке. Даже при использовании плуга почва пахалась на глубину не более 10—12 см [503].

Позднее стали использоваться приемы, повышающие урожайность сельскохозяйственных культур. Благодаря достижениям науки и техники появился широкий набор орудий, позволяющих уничтожать сорняки и обрабатывать почву. Постепенно агрофитоценозы превратились в одновидовые посевы, занимающие огромные территории. Это явилось причиной заметного снижения устойчивости агроэкосистем.

Как известно, в большинстве случаев высокая устойчивость естественных биологических сообществ обеспечивается значительным видовым разнообразием, позволяющим даже в неблагоприятные годы поддерживать высокую продуктивность и свойственный им круговорот веществ. Их стабильность достигается за счет компенсаторных возможностей отдельных жи-

вых организмов. Каждый из них занимает свое место в сообществе и функционирует при строго определенных параметрах внешней среды. Как только они изменяются настолько, что становятся неблагоприятными для одного вида, повышается активность других. В целом же биоценоз сохраняет устойчивое состояние. Наглядно продемонстрировать преимущества сложных экосистем перед простыми позволяют результаты опыта, проведенного М. М. Камшиловым. Им в модельных экосистемах изучалась интенсивность разрушения фенола. Исследовались следующие модели: 1) бактерии; 2) бактерии и водные растения; 3) бактерии, водные растения, моллюски; 4) бактерии, водные растения, рыбы. Оказалось, что быстрее всего фенол разрушался в 3-м и 4-м вариантах, а медленнее всего — в первом [228].

При сельскохозяйственном освоении территорий и создании на них искусственных экосистем происходит резкое сокращение видового разнообразия всех групп живых организмов. Ю. Одум приводит данные о плотности и разнообразии популяций членистоногих на просянном поле и сменившем его в следующем году сообществе разнотравья. По его сведениям, уже через год произошли следующие изменения.

1. Значительно уменьшилась численность растительноядных насекомых, а также общая плотность членистоногих.

2. Существенно увеличилось видовое разнообразие и индексы общего разнообразия всего состава членистоногих.

3. Значительно возросли численность, разнообразие и соотношение хищников и паразитов: хищники и паразиты на просянном поле составляли 17% всего населения, тогда как на сообществе разнотравья — 47%, то есть они по своей численности превзошли фитофагов [410].

Агрофитоценоз, состоящий из одной культуры, становится уязвимым для многих факторов окружающей среды, а его устойчивость ограничена потенциальными возможностями растений, входящих в его состав. Таким образом, природные биоценозы представляют собой довольно устойчивую систему, в которой имеются внутренние механизмы, поддерживающие их структуру при возмущении внешней среды. Агро-фитоценозы, в отличие от природных растительных сообществ, характеризуются низкой саморегулируемостью, а следовательно, и устойчивостью. Оградить одновидовые посевы полевых культур от вредителей, болезней и сорняков без вмешательства человека невозможно. Его роль заключается в том, что он на свои плечи взваливает работу, которая в естественных условиях выполняется за счет внутренних возможностей экосистем.

Как уже отмечалось, создавая простые агрофитоценозы, наше внимание сосредоточивается только на культурных растениях. Для них создается максимум благоприятных условий. Вся вкладываемая энергия направляется исключительно на увеличение урожайности. При этом абсолютно игнорируются остальные структурные компоненты агробио-геоценоза, для которых одностороннее изменение условий обитания безразлично. Некоторая их

часть активизируется, другая же, не выдержав антропогенного давления, постепенно исчезает из сообщества. Упрощаясь, агробиогеноценозы утрачивают свойства, характерные для естественных биоценозов. Для придания им устойчивости мы вынуждены вкладывать дополнительное количество энергии (вносим минеральные удобрения, применяем пестициды), что позволяет на короткий срок сдерживать развитие нежелательных процессов, но в то же время еще сильнее расшатывает агробиогеноценоз. Следовательно, делая ставку на одновидовые посевы, применение минеральных удобрений и пестицидов, мы увеличиваем его зависимость от антропогенного потока энергии. Однако такой путь развития сельского хозяйства не может нас устроить. По мнению А.А. Жученко и А.Д. Урсула [186], в понятие интенсификации в современных условиях должно вкладываться не дальнейшее насыщение технологий выращивания сельскохозяйственных культур приемами, истощающими невосполнимые природные ресурсы, а полное использование адаптационного потенциала растений и естественных природообразовательных процессов, протекающих в биосфере.

Думается, что выход из сложившейся ситуации лежит через изменение структуры агрофитоценоза. Он должен создаваться с учетом законов, регулирующих функционирование естественных экосистем. Правила, которым подчиняются природные сообщества, подсказывают нам, что многие проблемы современного земледелия могут быть решены за счет рациональной организации агрофитоценоза.

Основной причиной распространения в фитоценозах вредителей, болезней и сорняков является то, что, формируя на месте многовидовых сообществ одновидовый посев, мы создаем благоприятные условия для некоторых видов живых организмов. В простых посевах они находят свободные экологические ниши, пищевой ресурс и поэтому очень быстро размножаются. Их полное уничтожение не решает проблемы, так как пустующие ниши со временем будут заполняться другими живыми организмами. Предотвратить развитие и распространение сорняков, вредителей и болезней можно только в том случае, если в агрофитоценозах все свободные экологические ниши займут организмы, которые бы прямо или косвенно контролировали их численность. В качестве таких структурных компонентов следует использовать различные растения. Их включение в состав культурного сообщества может иметь двоякую цель. Первое — это увеличение гетерогенности агробиогеноценоза, а второе — получение дополнительной сельскохозяйственной продукции.

Многовидовые посевы в истории земледелия используются очень давно. Такой способ выращивания растений возник в результате взаимодействия многовекового крестьянского опыта, биологических особенностей возделываемых культур и почвенно-климатических условий. Наибольшее распространение смешанная культура получила в Африке и Индокитае. Во многих странах этих регионов крестьяне до настоящего времени прибегают к посе-

вам, в состав которых входит 5—10 культур [356]. Как показали наблюдения, главное преимущество смешанных посевов — в их способности эффективно использовать факторы окружающей среды. С учетом урожайности всех культур они характеризуются более устойчивой продуктивностью, чем одновидовые посевы [356]. Одним из примеров выращивания сельскохозяйственных культур в смешанных посевах может служить опыт земледелия в бассейне Амазонки. Он предусматривает максимальную имитацию условий влажно тропического леса. На одном поле там выращивают корнеплоды, бобы, тыкву, маниок, батат, бананы, ананасы. Считают, что "одновременное выращивание нескольких культур, имеющих различные сроки и продолжительность созревания, обеспечивает лучшую защиту почвы от эрозии, более полное использование влаги и питательных веществ в разных слоях почвы, страхует при неурожае отдельных культур, затрудняет распространение вредителей и болезней сельскохозяйственных растений" [463].

Пройдя длительную проверку временем, смешанная культура в развитых странах вошла в противоречие с требованием индустриализации сельскохозяйственного производства. Многовековой крестьянский опыт большей частью был отброшен и забыт. Сейчас мы имеем только отдельные сведения о способах выращивания культур нашими предками. В основном это данные о нормах высева и урожайности. При изучении исторических документов обнаруживается, что древние земледельцы, не обладавшие глубокими научными знаниями, мощной техникой и средствами химизации, зачастую имели поразительные успехи. Урожайность зерновых культур в междуречье Тигра и Евфрата в III тыс. до н. э. достигала сам 36, сам 50 и даже сам 104. Сам 104 соответствует 208 ц/га. Ячмень, по описаниям Геродота (5 в. до н. э.), давал сам 200 и сам 300 [26]. Конечно, можно выражать большие сомнения в достоверности дошедших до нас сведений, но в то же время они заставляют задуматься о том, что не потеряли ли мы в процессе развития земледелия, кроме плодородия почвы, высокопластичные формы и сорта растений и достаточно надежные по своей эффективности и природоохранным качествам способы возделывания сельскохозяйственных культур.

На большей части территории России сельскохозяйственное освоение земель происходило позднее, чем в центрах мирового земледелия. Это, а также неблагоприятные почвенно-климатические условия и ограниченный выбор культурных растений отразились на способах их выращивания. Они ориентированы преимущественно на одновидовые посевы. Но некоторые культуры и в нашей стране выращивались в смешанных посевах [579]. По свидетельству В.И. Шадурского, российская "Земледельческая газета" в 1844 г. опубликовала более 20 статей, в которых обобщался местный и зарубежный опыт выращивания яровых и озимых культур в совместных посевах. Он же приводит данные об урожаях зерновых культур, которые получали в конце XIX — начале XX в. на севере Зауралья. Оказывается, урожайность яровых культур в 200 пуд./дес. (соответствует 29,4 ц/га) считалась

только хорошей, но не высокой. Рекордные урожаи зерновых достигали 250—300 и даже 360 пуд./дес. И это без внесения минеральных удобрений.

В XX столетии ученые неоднократно возвращались в своих исследованиях к смешанным посевам. Однако они рассматривали их не как организованную структуру, способную противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды, а с более практической стороны. Так, включение бобовых в состав посевов злаковых культур положительно влияет на качество корма. В нем повышается содержание сырого протеина, улучшается аминокислотный и минеральный состав. Выращивание гороха в смеси с культурами, имеющими прочный стебель, позволяет предотвратить его полегание. Очень большое внимание смешанным посевам уделяется в луговодстве. По мнению Л.Ю. Каджилюса [224], преимущества травосмесей перед одновидовыми посевами состоят в следующем.

1. Смеси, как правило, более урожайны.
2. Растения, входящие в состав травосмесей, лучше противостоят действию отрицательных температур в зимний период, дольше сохраняются и дают более устойчивый урожай по годам.
3. Смеси лучше используют питательные вещества, так как их корни охватывают больший объем почвы.
4. Бобовые, входящие в состав смесей, участвуют в обеспечении других растений азотом.
5. Смешанные посевы лучше используют солнечную энергию, так как растения, входящие в их состав, имеют различную форму и расположение листовых пластинок. Это обеспечивает более оптимальное распределение листьев в пространстве.
6. Травосмеси меньше страдают от сорняков, вредителей и болезней.
7. Травосмеси в большей степени, чем одновидовые посевы, улучшают структуру почвы, так как образуют очень много корней.
8. При возделывании травосмесей снижается вероятность возникновения почвоутомления.

Последние достижения экологии и агрофитоценологии выводят исследования совместных посевов на новый уровень. Биоценотический подход при формировании искусственных сообществ дает возможность использовать их внутренние резервы в борьбе с вредителями, болезнями и сорняками. Использование смешанных культур позволяет повысить неоднородность агробиогеоценоза. Появляется множество дополнительных условий, наличие которых необходимо для нормальной жизнедеятельности целого комплекса живых организмов. Повышается разнообразие мест обитания, микроклимата, пищевых ресурсов для консументов и редуцентов, аллелопатического фона и т.д. Таким образом, насыщая смешанные посевы разнообразными растениями, можно целенаправленно изменять гетерогенность среды, а значит, и степень ее благоприятствования как для культурных растений, так и нежелательных структурных компонентов агробиогеоценозов.

Успешное выращивание сельскохозяйственных культур в смешанных посевах возможно только при научно обоснованном подборе компонентов. Включение в состав смесей растений без учета их биологических особенностей может привести к отрицательным результатам. В наших исследованиях было установлено, что совместное выращивание клевера лугового эффективно, если в состав смеси входят овсяница и тимофеевка луговая, а люцерны — тимофеевка луговая. Продуктивность травосмесей с участием других видов злаковых трав оказалась ниже (табл. 64).

*Таблица 64*

**Урожайность смешанных посевов многолетних трав, г/сосуд**  
(среднее за 1984—1986 гг.)

Варианты	Клевер луговой	Люцерна
Посев с кострцом безостым	46,8	33,4
Посев с тимофеевкой луговой	51,5	45,0
Посев с овсяницей луговой	52,5	33,0
Посев с лисохвостом луговым	35,5	26,8

Большое внимание совместимости и подбору культур для смешанных посевов уделяли в своих работах А.М. Гродзинский, Ю.А. Злобин, В.П. Иванов, Б.М. Миркин, П.В. Юрин. Ими разработаны основные принципы конструирования агрофитоценозов. Они включают в себя учет следующих особенностей растений: характер пространственного расположения листьев, их форму и ориентацию, реакцию на изменение интенсивности освещения, требовательность к влажности и устойчивость к водному дефициту, тип корневой системы и глубину проникновения корней, периодичность поглощения минеральных элементов, способность усваивать питательные элементы из труднодоступных соединений и время прохождения отдельных фаз. Подбор компонентов для смешанных посевов должен идти в направлении совмещения растений, отличающихся по морфологическим признакам и предъявляющих различные требования к условиям окружающей среды. От того, насколько будет выполнено это условие, зависит реализация потенциальных возможностей всего посева и отдельных его компонентов.

Совмещение растений в смешанных посевах должно проводиться с учетом их аллелопатического взаимодействия. Этому вопросу в последние годы уделяется очень много внимания. При изучении аллелопатических характеристик полевых культур среди них выявлены виды с повышенной активностью. К ним относятся рапс, сурепица и редька масличная. Включение в смешанные посевы таких растений в значительной мере определяет продуктивность отдельных компонентов. Кроме того, оказывается, многие крестоцветные сдерживают развитие сорняков [152, 153].

Весомый вклад в изучение особенностей смешанных посевов полевых



культур внес П.В. Юрин [604]. В его монографии "Структура агрофитоценозов и урожай" убедительно показаны преимущества смешанных посевов. Например, в его многолетних опытах урожайность кукурузы в односортовых посевах составила 343 ц/га, а в смешанных посевах, в состав которых входили сорта с различной высотой и скороспелостью — 472 ц/га. Превосходили по урожаю односортовые посевы и смеси сортов зерновых культур. В своих исследованиях он не ограничился изучением взаимодействий между растениями. Им также дан анализ влияния структуры растительных сообществ на вредных насекомых и устойчивость растений к патогенным микроорганизмам. Смешанные посевы разных видов или даже разных сортов одного вида оказались более устойчивыми к инфекционным заболеваниям и вредителям. Одна из причин меньшего воздействия вредителей на разнородные посевы объясняется присутствием в их составе растений-репеллентов, обладающих свойством отпугивать некоторые виды насекомых.

Положительный эффект от совмещения кукурузы в одном посеве с другими кормовыми растениями получен в опытах, проведенных в Сибирском НИИ кормов (табл. 65).

*Таблица 65*

**Эффективность возделывания  
кукурузы в смеси с пелюшкой и суданкой [298]**

<b>Вариант</b>	<b>Урожай зеленой массы, ц/га</b>	<b>Сбор сухого вещества, ц/га</b>	<b>Выход сырого протеина с 1 га, ц</b>
Кукуруза (контроль)	530	141,5	10,1
Смешанный посев кукуруза + пелюшка + суданка	552—586	143,1—145,2	13,3—15,1

В связи с тем, что основным моментом в концепции экологического земледелия является активизация почвообразовательных процессов, большой интерес вызывают сведения о влиянии смешанных посевов на биологические свойства почвы. В опытах П.В. Юрина установлено положительное влияние смешанных посевов на развитие клубеньковых бактерий и азотобактера. Следует полагать, что так как при выращивании растений в смешанных посевах, особенно разнородных, в почву поступают разнообразные по химическому составу корневые выделения и послеуборочные остатки, то, кроме указанных изменений, в ней в равной степени происходит активизация всех микробиологических процессов.

В современном земледелии используются различные способы выращивания сельскохозяйственных растений, которые предусматривают их совмещение в одном посеве (подсевные культуры) или в одном поле севооборота (пожнивные, поукосные и промежуточные культуры). Наибольший ин-

интерес, по нашему мнению, представляет идея конвейерного земледелия, разрабатываемая на кафедре земледелия Свердловского СХИ [538]. Суть конвейерного земледелия состоит в том, что используя отдельные агротехнические приемы и целенаправленный подбор культур, создается посев, структурные компоненты которого созревают в различные сроки. В нем одновременно присутствуют растения, достигшие хозяйственной спелости и находящиеся на начальных этапах развития. После уборки урожая растения, находившиеся под его пологом, быстро набирают силу и формируют следующий. Такой способ совмещения растений позволяет более эффективно использовать факторы окружающей среды в начальные и заключительные периоды развития растений. После уборки урожая почва не оголяется полностью, а значит, не подвергается воздействию солнца, воды и ветра. В ней менее интенсивно происходит минерализация органического вещества, намного снижается вероятность возникновения эрозионных процессов.

Авторами идеи конвейерного земледелия испытано несколько вариантов технологий выращивания сельскохозяйственных культур, позволяющих получать с одного участка два-три урожая в год. При этом поле превращается в однопольный севооборот, состоящий из 3—4 культур. Суть одного из вариантов состоит в следующем. Рано весной в рожь подсеивается смесь, состоящая из овса, ячменя, вики, гороха. Рожь скашивается в фазе трубки, подсеянная смесь — в фазу бутонизации бобовых. Вслед за уборкой второго урожая поле подвергается тщательной поверхностной обработке и засеивается смесью зернобобовых культур для получения третьего урожая [538].

Приемы выращивания растений в смешанных посевах разрабатываются во многих научных учреждениях. Но следует отметить, что большинство специалистов, изучающих эту проблему, не придает должного значения фитоценотическим принципам подбора компонентов, а повышение гетерогенности посева не рассматривается как способ регулирования видового состава и численности живых организмов, входящих в агробиогеоценоз. Необходимость учета взаимовлияния растений при создании смешанных посевов подтверждается результатами исследования. Так, прорастающие семена кукурузы отрицательно реагируют на выделения прорастающих семян проса, гороха и овса. Этого не наблюдалось в присутствии семян пшеницы, ржи, сои, подсолнечника, овса и ячменя [145]. В других исследованиях было установлено, что кукуруза и фасоль при их совместном выращивании оказывали друг на друга положительное влияние. При выращивании кукурузы в смеси с нутом она снижала свою продуктивность [432].

При конструировании смешанных посевов очень важным становится вопрос о степени сложности агрофитоценоза, которая обеспечивает его устойчивость. Графическое изображение предполагаемого изменения устойчивости сообществ при повышении их разнообразия выглядит следующим образом (рис. 12).



**Рис. 12. Влияние степени разнообразия сообщества на его устойчивость**

Как видно из рис. 12, незначительное увеличение сложности агрофитоценоза несущественно отражается на его прочности. И только при определенном уровне разнообразия происходит заметное повышение устойчивости сообщества. Другими словами, создание относительно устойчивых агрофитоценозов возможно только в том случае, если будет обеспечен определенный минимум их разнообразия. Но здесь возникает противоречие. С одной стороны, при увеличении сложности повышается устойчивость фитоценоза, а с другой — усложняется его использование, что связано с различием растений по хозяйственному назначению. Решение этого противоречия в значительной степени будет зависеть от подбора компонентов для смешанных посевов и возможностей техногенных факторов выращивания сельскохозяйственных культур. В природе встречаются и простые устойчивые сообщества. Однако все они характеризуются большим соответствием экологических особенностей живых организмов условиям мест обитания. В агрофитоценозах это не возможно. Поэтому единственным способом придания им устойчивости является повышение степени их разнообразия.

Растения, входящие в агрофитоценоз, должны выполнять следующие функции: удерживать численность сорняков, вредителей и возбудителей болезней на уровне ниже порога вредоносности, способствовать повышению эффективного и потенциального плодородия почвы, обеспечивать получение максимального (но не в ущерб плодородию почвы) выхода хозяйственно-ценных частей растений. Но поскольку ни одна из выращиваемых культур не может в полной мере отвечать столь разнообразным требованиям, при составлении смешанных посевов каждому его компоненту должна отводиться строго определенная роль. В посевы могут включаться и растения, не имеющие хозяйственного значения, но обладающие ярко выраженным свойством, позволяющим активно вмешиваться в жизнь агробиогеоценоза. Частично такие способности, вероятно, имеются у некоторых сорных растений, и это необходимо использовать в практических целях. Например, присутствие в определенной доле сорных растений в агрофитоценозах повышает урожай-

ность сельскохозяйственных культур [319]. Б.М. Миркин и Ю.А. Злобин считают, что полезные свойства сорных растений состоят в следующем:

- сорняки играют важную роль в циклах круговорота веществ и энергии в агроэкосистемах. Сорняки поглощают минеральные элементы из тех слоев почвы, в которые не проникают корни культурных растений. После их гибели происходит обогащение почвы питательными веществами;

- сорные растения защищают почву от эрозии, особенно при возделывании пропашных культур;

- сорные растения могут отпугивать многих нежелательных насекомых и в целом разнообразят видовой состав сообщества;

- сорные растения обогащают биологический фон в подземной сфере сообщества, что способствует более активной деятельности почвенных насекомых, грибов, бактерий;

- в посевах, выращиваемых на зеленый корм, некоторая примесь сорных видов улучшает поедаемость и переваримость корма, так как играет роль вкусовой добавки;

- сорные растения несут информационную функцию. По ним можно определять такие показатели, как кислотность почвы, содержание отдельных химических элементов, структуру почвы и т. д.;

- сорные растения могут быть источником дополнительных растительных ресурсов [352].

Ориентация выращивания сельскохозяйственных культур в смешанных посевах открывает больший простор селекции. Создаваемые для эколого-биосферного земледения сорта должны отличаться экологической пластичностью и обладать свойствами, повышающими устойчивость агробиогенеза. Использование сортов, создававшихся под интенсивное применение средств химизации, не позволит в полной мере раскрыть потенциал как природоохранного земледелия, так и возможности сортов.

В понятие экологическая устойчивость вкладывается не только способность растений противостоять недостатку элементов минерального питания и воды, низким и высоким температурам, кислотности и солености почвенного раствора, но и вредителям, а также возбудителям болезней. Одним из факторов, сдерживающих их размножение и развитие, является наличие в культурных растениях вторичных соединений, таких как алкалоиды, флавоноиды, терпены, гликозиды. Они, по мнению Ю.А. Захваткина, выполняют роль репеллентов и аттрактантов. В практике современной селекции вторичные вещества относят к нежелательным, так как они придают сельскохозяйственной продукции специфический вкус и запах. Поэтому их присутствие в создаваемых культурных растениях постепенно снижалось. Но в то же время они утрачивали устойчивость к вредителям и возбудителям болезней, так как исчезал фактор, сдерживающий их развитие. В индустриально-технологических системах земледелия этот недостаток компенсировался применением средств защиты растений. При переходе на экологи-

биосферное необходимо не только вернуть эти свойства растениям, но и усилить их. Только в этом случае появится возможность без ущерба для урожая отказаться от использования средств химизации.

Использование новых сортов и научно обоснованных рекомендаций по составлению смешанных посевов позволит в перспективе создавать агрофитоценозы с планируемыми сукцессионными изменениями.

## **6.7. Место агролесомелиорации в эколого-биосферном земледелии**

Характерной чертой индустриально-технологического периода в развитии земледелия является распашка больших территорий, на которых создаются простые по своей структуре агрофитоценозы. В агроландшафтах, особенно степной зоны, практически полностью отсутствуют лесные массивы. Первым, кто со всей очевидностью осознал опасность сведения лесов, был основатель почвоведения В.В. Докучаев. Проанализировав причины снижения урожаев в европейской части России в конце XIX в., он пришел к выводу, что они порождены неразумной деятельностью человека. В обоснование своего заключения он приводит следующие цифры. Если в Полтавском уезде леса прежде занимали более 34% всей площади, то к концу XX в. — только 7%, в Роменском и Лубенском уездах, соответственно, 26 и 9%, 30 и 4%. В своей работе "Наши степи прежде и теперь" он писал: "Леса, защищавшие местность от размыва и ветров, скоплявшие снега, способствующие сохранению почвенной влаги, а вероятно, и поднятию горизонта грунтовых вод, охранявшие ключи, озера и реки от засорения, уменьшавшие размеры и удлинявшие продолжительность весенних водополей, — эти, можно сказать, важнейшие, наиболее надежные и верные регуляторы атмосферных вод и жизни наших озер, рек и источников местами уменьшились в 3—5 и более раз". Уничтожение лесов и спровоцировало возникновение губительных засух и пыльных бурь [169]. Изучение исторических документов показало, что в XVIII в. было 9 острозасушливых лет, в XIX — 26, а в первой половине XX в. — 17 [208].

Активное вмешательство человека в окружающую среду продолжается. Площадь, занятая лесными массивами, неуклонно сокращается. Это закономерно изменяет условия, в которых приходится выращивать сельскохозяйственные культуры. Происхождение засух при чрезмерной распашке наглядно описывается А. Ивашенко. Весной поверхность земли, лишенная растительного покрова, под солнечными лучами очень быстро и сильно нагревается (до 50 °C и более). От нагретой почвы повышается температура прилегающего с ней воздуха, и он устремляется в небо, унося с собой огромное количество испаряющейся воды. К нагретой поверхности почвы поступают все новые и новые массы воздуха, которые опять поднимаются вверх. Так в атмосфере над распаханном полем возникают локальные конвекционные потоки. И если размеры поля небольшие, то существенных изменений в

атмосферных процессах не происходит. Но если суммарная площадь распаханых участков достаточно велика, то небольшие воздушные течения сливаются в единый восходящий мощный поток, нарушающий тысячелетиями складывающийся ход атмосферных процессов [208].

Лесные массивы в агроландшафтах — важный климатообразующий фактор, влияющий на примыкающие к ним посевы [397]. Естественные колки размером 70—80 x 25—30 м овальной формы повышают на прилегающей территории, по сравнению с открытым пространством, высоту снежного покрова, запасы влаги и влажность почвы в метровом слое на протяжении всего вегетационного периода. Продуктивность кормовых угодий, расположенных в зоне влияния колков, выше на 18—38% [353].

Значительное улучшение условий роста растений происходит и под прикрытием искусственных лесонасаждений. Правильно сформированная система лесополос повышает на полях в 1,5—2 раза мощность снежного покрова, в 1,5—2 раза снижается глубина промерзания почв. В 1,5—2,2 раза снижается интенсивность снеготаяния, и поэтому основная масса талых вод фильтруется в почву, а не стекает по ее поверхности [455].

Планомерное облесение больших пространств способствует выпадению большего количества атмосферных осадков. Так, на территории Мариупольской опытной станции раньше выпадало 400 мм осадков в год, позднее, после создания системы лесополос — 480 мм. Имеются примеры, когда сеть искусственных лесонасаждений повышала зеркало грунтовых вод. В Тимашевском лесоаграрном ландшафте за последние 30 лет их уровень под лесными полосами повысился на 163 см [421].

Анализ информации, проведенной с использованием ЭВМ, показал, что за 90 лет существования лесополос в Каменной степи на 37% уменьшилась скорость ветра, на 20—25% повысились запасы воды в снеге, снизился абсолютный минимум и максимум температуры воздуха и увеличился безморозный период. В системе с защитными лесными насаждениями, по сравнению с необлесенными территориями, относительная влажность воздуха повысилась на 3—10% [520]. Аналогичные данные получены при обследовании лесоаграрного ландшафта на территории совхоза "Гигант" Ростовской области [537].

Лесные полосы оказывают благоприятное воздействие на плодородие почвы. Вблизи старовозрастных полос отмечают повышение содержания гумуса. Частично этот факт объясняется тем, что осенью со спадом листьев из лесных полос на поля выносятся от 500 кг до 2 т/га органического вещества, в котором содержится около 200 кг азота, 40 кг калия и 20 кг фосфора [421].

Лесополосы являются идеальной системой, предотвращающей эрозионные процессы и вынос биогенных элементов с поверхностным стоком. По данным В.И. Антонова (цит. по: Е.С. Павловский), шестирядная лесная полоса продуваемой конструкции уменьшала вынос аммиачного азота на 30—62%, нитратного азота — на 38—43, подвижного фосфора — на 12—64,

калия — на 34—61%. В опытах, проведенных в УкрНИИЛХА, установлено, что только за счет снижения содержания в поверхностном стоке твердых частиц вынос азота с облесенных пахотных земель, по сравнению с открытыми массивами, меньше в 2,5—7 раз, фосфора — в 2—6, калия — в 3—5 раз [421]. Препятствуя переносу веществ в агро-ландшафте, леса превращаются в биогеохимический барьер, который регулирует геохимический поток. Значение этой функции леса выходит за рамки агроэкосистемы. В конечном итоге она определяет состояние сопредельных экосистем.

Благодаря улучшению условий роста растений в лесоаграрном ландшафте, повышается продуктивность пашни. Урожайность зерновых культур повышается в среднем на 15—20%, подсолнечника — 20—15, проса — 20—25, сахарной свеклы — 25—30, овощных культур — 40—45%. При этом отмечено снижение колебаний урожайности по годам [420, 421].

Преимущества облесенных полей в плане улучшения климатических показателей очевидны. Вместе с тем, следует отметить, что значение лесных массивов и лесопосадок в аграрном ландшафте не ограничивается рассмотренным вопросом. В последние годы все отчетливее проявляется экологическая роль лесополос. Они являются естественной преградой, предотвращающей распространение болезней и вредителей сельскохозяйственных культур. Лесополосы, фильтруя воздух, осаждают споры фитопатогенных микроорганизмов, сокращают межфациальные миграции насекомых, в них накапливается полезная энтомофауна [373, 433]. По данным И.Ф. Павловского и А.Я. Понуровского (цит. по: Е.С. Павловский), общая численность энтомофауны в лесоаграрном ландшафте выше, чем на открытых полях на 37—45%, а количество таких насекомых, как жужелицы и тлевые коровки, соответственно, в 2,6 и 6—7 раз. Если гибель полезных насекомых в зимний период в лесополосах составила 13%, то на необлесенных участках — 47%. В опытах, проведенных в Куйбышевской области, общая численность фитофагов на облесенном поле яровой пшеницы была ниже в 1,4—3 раза. При этом видовой состав энтомофауны увеличивался в 1,5—2 раза [277].

Защитные лесные насаждения способствуют увеличению численности на аграрной территории птиц, мелких и крупных беспозвоночных. Более того, искусственные посадки, особенно в степной зоне, становятся единственным местом обитания многих животных и по существу спасают их от вымирания. В этом состоит биосферное значение природоохранного земледелия. Сведение лесов на больших пространствах, разрушение мест обитания многих животных является одной из (главных причин их вымирания. Создавая полезащитные лесные полосы, мы одновременно с решением земледельческих проблем создаем предпосылки для предотвращения вымирания животных. То есть переход на эколого-биосферное земледелие является одним из условий сохранения биоразнообразия на планете.

Роль лесных полос в увеличении численности живых организмов можно проследить на ряде примеров. В Ростовской области при создании

лесозащитных насаждений количество млекопитающих, по сравнению с необлесенными участками, возросло с 18 до 31, птиц — с 27 до 78, пресмыкающихся — с 4 до 5 видов [421]. В Каменной степи, спустя 60 лет после посадки лесных полос, разнообразие птиц увеличилось с 46 до 70 видов, зверей — с 12 до 30 видов [304].

Различия в заселенности агроландшафтов в зависимости от облесенности хорошо видны из данных табл. 66.

Таблица 66

**Плотность заселения некоторых фоновых видов позвоночных в весенний период, особей/тыс. га [421]**

Виды животных и птиц	Поволжская АГЛОС (Куйбышевская область)		Обливское ОПХ (Ростовская область)	
	облесенное поле	необлесенное поле	облесенное поле	необлесенное поле
Заяц-русак	4,5	0,02	52,6	1,2
Лисица	2,5	0,8	19,4	7,5
Пустельга обыкновенная	100,0	5,0	100,0	ед.
Куропатка серая	ед.	ед.	37,6	3,0
Перепел	700,0	30,0	100,0	40,0
Жаворонок	12 700,0	6200,0	4900,0	1,0
Скворец	400,0	20,0	4000,0	3,0

Увеличение видового разнообразия способствует повышению экологической стабильности всей лесоаграрной системы. Поэтому в ней должны постепенно исчезать предпосылки для возникновения эпифитотий и массового размножения насекомых, наносящих вред культурным растениям.

Значение для эколого-биосферного земледелия обогащения агроландшафта различными формами жизни можно показать на примере птиц. Они обладают повышенным обменом веществ. Мелкие птицы за сутки съедают такое количество корма, которое приблизительно равно их собственному весу [70]. Большинство из них питается насекомыми, обитающими на растениях и в поверхностных слоях почвы, и поэтому птицы способны регулировать численность вредителей на полях. Пара взрослых грачей в период выкармливания птенцов за одни сутки собирает 700—1000 особей насекомых, что составляет 40—45 г. Пара скворцов ежесуточно скармливает птенцам 1400 экз. беспозвоночных общей массой 89,6 г [21]. Грачи в Кустанайской области уничтожают 50—83,3% прямокрылых при их начальной плотности 0,8—1,8 экз./м<sup>2</sup> [21]. По сведениям Г.Е. Кореньковой (цит. по: Э.И. Голованова), скворец и зяблик в степной зоне снижают численность черепашки на 55%. В Ростовской области вредную черепашку на 50% поедают сороки [140].



Появление в агрофитоценозах хищных млекопитающих и птиц служит регулятором численности мышевидных грызунов, причиняющих вред зерновому хозяйству. Установлено, что встречаемость грызунов на краях полей, примыкающих к лесу, в 5—7 раз ниже, чем в центре поля. Ширина такого "краевого эффекта" составляет от 150 до 140 м. Он образуется в результате уничтожения мелких млекопитающих хищными животными и птицами [72].

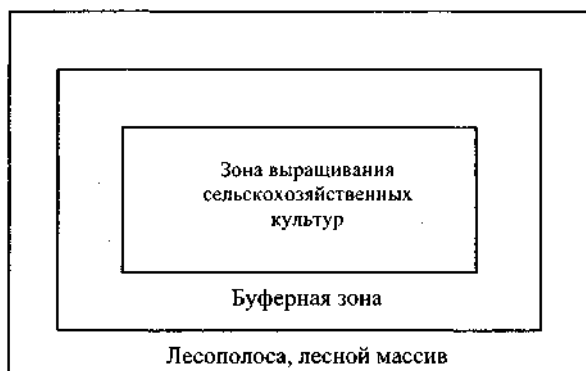
Функционирование любых сообществ с участием растений очень сильно зависит от их биоценотической активности. Этот вопрос в отношении взаимодействия растений через выделяемые ими метаболиты уже рассматривался ранее. Повторное обращение к нему связано с тем, что, по нашему мнению, естественные лесные массивы и лесополосы выполняют в аграрном ландшафте, кроме всех перечисленных функций, роль поставщика биологически активных веществ. Суточная фитонцидная продуктивность лиственного леса составляет 2, а хвойного 3 кг/га. Казалось бы, такие количества выделяемых веществ не могут повлиять на экологическую ситуацию в агроландшафте. Однако если принимать во внимание, что биологическая активность выделяемых растениями веществ проявляется при их чрезвычайно малой концентрации в окружающей среде, то не придавать значения этому факту было бы неосмотрительно. Видимо, благодаря древесным насаждениям в лесоаграрном ландшафте создается определенный аэрохимический фон [66], который является одним из факторов, определяющим условия обитания живых организмов. Жители сельской местности, без сомнения, не раз являлись свидетелями того, как пыльца берез, образующаяся в больших количествах в благоприятные для цветения годы, порывами ветра поднимается в воздух, образуя прозрачные желто-зеленые облака. Через некоторое время она осаждается на землю, покрывая ее или хозяйственные постройки желто-зеленым налетом. Похожее явление происходит и в период массового цветения черемухи. В тихие безветренные дни ее запах ощущается на большом расстоянии. Приведенные примеры касаются только тех случаев, когда присутствие раздражителя явно и воспринимается даже человеком, имеющим огрубевшие органы чувств. На самом же деле древесная растительность является источником большего количества факторов, имеющих химическую природу, которые в той или иной степени воздействуют на живые организмы, обитающие как в лесных массивах, лесополосах, так и на прилегающих к ним полям.

В связи с тем, что микроорганизмы и насекомые очень чутко реагируют на присутствие в окружающей среде биологически активных веществ, аэрохимический фон, создаваемый древесной растительностью через выделение фитонцидов или обильное цветение, может быть использован в целях регулирования их численности и активности.

Итак, лесонасаждения, кроме улучшения климатических факторов, способствуют повышению экологической емкости аграрных ландшафтов. Целенаправленное регулирование видового состава, размера и структуры лесозащитных насаждений может быть использовано для изменения в нуж-

ную сторону общей экологической обстановки. Управление отдельными компонентами сообществ следует осуществлять через определенным образом сформированные ландшафтные инженерно-биологические комплексы, которые предусматривают создание или ликвидацию экологических ниш для живых организмов [455].

Ранее конструирование защитных лесных насаждений велось с учетом максимального выполнения ими климатообразующей роли. Но теперь этого недостаточно. Не менее важной функцией лесополос, особенно в эколого-биосферном земледелии, является придание агроланд-шафтам экологической устойчивости и сохранение биоразнообразия. В связи с этим должны быть пересмотрены требования к их форме, конструкции и структурному составу. Перечисленные показатели должны обеспечивать нормальные условия обитания для всего комплекса живых организмов, присутствие которых в агроландшафтах необходимо для реализации потенциальных возможностей сельскохозяйственных растений, восстановления биоразнообразия и максимального сохранения природных биогеохимических потоков. Аналогичный подход должен быть использован при определении площади и размеров безлесового пространства. Следует добиваться того, чтобы все оно находилось в зоне влияния лесных биоценозов.



**Рис. 13. Примерная схема элементарной лесоаграрной единицы**

Как нам представляется, лесоаграрный ландшафт должен состоять из отдельных элементарных лесоаграрных единиц. Схематическое изображение элементарной лесоаграрной единицы приведено на рис. 13. В приложении к конкретной территории ее границы должны быть не прямолинейными, а определяться с учетом особенностей ландшафта и его отдельных элементов.

Особенность приведенной схемы состоит в том, что в ней имеется буферная зона. Она включает в себя промежуточное пространство между лесо-

полосой и полем. Ее выделение вызвано тем, что территория, прилегающая к лесополосам на расстояние 1—2 Н (Н — высота древесной растительности), резко отличается по ряду признаков от безлесового пространства. Весной почва в этой зоне, вследствие большого накопления снега, имеет повышенную влажность. В степных и полупустынных климатических поясах, в непосредственной близости к лесополосам, в отдельные годы наблюдается некоторое угнетение полевых растений, не отражающееся, правда, на общем положительном влиянии лесных насаждений на урожайность полевых культур. Все это создает определенные трудности при обработке почвы и уборке урожая [421]. Поэтому, с нашей точки зрения, на территории буферных зон не следует выращивать сельскохозяйственные культуры. Ее необходимо использовать для придания лесоаграрному ландшафту еще большей разнородности. Буферная зона должна засеваться многолетними травами. На ней следует также в определенном порядке создавать небольшие островки кустарников и небольших деревьев. Это будет способствовать появлению дополнительных экологических ниш для тех птиц и животных, которые обычно избегают сплошных лесных массивов. В то же время многолетние травы могут быть использованы для заготовки кормов.

В связи с тем, что потенциальные возможности эколого-биосферного земледелия реализуются только в лесоаграрном ландшафте, интересно проследить, как изменяется отношение к лесомелиорации в нашей стране. Получить представление об этом можно на примере масштабов полезащитного разведения (табл. 67). Из приведенных данных видно, что происходит неуклонное снижение объемов агролесомелиорации. Это можно объяснить только порочной системой хозяйствования, в основе которой лежит стремление к получению сиюминутной выгоды, а все проблемы, возникающие в результате неразумной деятельности, предоставляется решать грядущим поколениям.

Таблица 67

**Объемы создания защитных лесных насаждений  
в бывшем СССР, тыс. га [421]**

Период	Число лет	Создано насаждений	
		за весь период	а среднем за год
1917—1948	32	288,7	9,0
1949—1953	15	1988,3	397,7
1954—1964	10	1566,6	156,6
1968—1970	3	629,8	209,9
1971—1975	5	987,7	197,5
1976—1980	5	957,4	191,5
1981—1985	5	759,4	151,9

Эколого-биосферное земледелие, в котором важное место отводится агролесомелиорации, должно способствовать и решению такой глобальной проблемы, как потепление климата. В 70—80-е гг. XX столетия среднегодовые температуры воздуха у поверхности земли были наивысшими за последние 130 лет [138]. Если в 1890 г. средняя глобальная температура воздуха была 14,5°C, то в 1980 г. она составила 15,2°C. Самые теплые периоды приходится на 1980, 1981, 1983, 1987 и 1988 гг. [307, 308]. Потепление климата на планете объясняется накоплением CO<sub>2</sub> в атмосфере в результате сжигания больших объемов органического топлива.

Предлагается несколько вариантов решения этой проблемы. Суть одного из них состоит в том, что необходимо увеличить площадь лесов, которые являются основным поглотителем углекислого газа. Необходимость проведения этого мероприятия хорошо согласуется с потребностями эколого-биосферного земледелия. Поэтому восстановление лесного покрова как поглотителя избыточного углекислого газа целесообразно проводить в агроландшафтах. Это позволит ослабить напряженность глобальных экологических проблем и улучшить условия для реализации эколого-биосферного земледелия.

## **6.8. Агроландшафт и его связь с эколого-биосферным земледелием**

Особенностью земледелия является то, что оно основано на вовлечении в хозяйственную деятельность значительных территорий. Каждое поле, на котором выращиваются сельскохозяйственные культуры, следует рассматривать не как обособленные единицы, а как часть ландшафта. Под ним понимается однородный участок территории, на котором все его компоненты — рельеф, климат, почва и биота взаимодействуют между собой и образуют единую систему [470]. Важнейшими элементами ландшафта являются выровненность поверхности, гидрологический режим, наличие водных объектов, микроклимат и сообщества живых организмов. Все они взаимосвязаны между собой. Эта связь реализуется через биогеохимические потоки вещества и энергии, которые пронизывают все части ландшафта. Формирование биогеохимических потоков происходит по следующей условной схеме. Солнечная энергия и минеральные вещества, поглощенные растениями, превращаются в органические соединения и поддерживают жизнедеятельность биоты. Она, а также почвенная органика оказывают воздействие на литосферу, вызывая ее биологическое выветривание, поддерживаемое физико-химическими процессами. Продукты выветривания, в соответствии с рельефом местности, с поверхностными и внутripочвенными потоками воды попадают в водные объекты и аккумулируются там, в тканях водных растений, рыб и других живых организмов. Вещество, попавшее в водоемы, выносится из ландшафта в другие природные объекты либо возвращается в исходную позицию для участия в следующем цикле. Вынос вещества из водного объек-

та осуществляется живыми организмами, питающимися водной растительностью или рыбой, но живущими на суше. На суше они включаются в трофические цепи, погибают или откладывают экскременты и способствуют тем самым замыканию биогеохимических круговоротов. Постоянство круговорота веществ в ландшафте обуславливает его устойчивость.

Сельскохозяйственное освоение очень сильно воздействует на отдельные элементы ландшафта. И это может быть причиной нарушения его устойчивости. Примером такой ситуации служит эвтрофирование водоемов, возникновение эрозии почв, уменьшение объема образования первичной продукции. Для современного земледелия характерны следующие недостатки, которые отрицательно воздействуют на агроландшафт: чрезмерно высокая степень распаханности, видовая ограниченность агрофитоценозов, недостаточное внимание к агролесомелиорации, использование способов обработки почвы, провоцирующих возникновение эрозии, чрезмерное использование средств химизации и игнорирование естественных границ ландшафта [209].

Недооценка воздействия земледелия на агроландшафт может привести к полной потере его хозяйственного значения. Поэтому освоение ландшафта или отдельных его элементов должно осуществляться с максимально возможным сохранением их участия в формировании биогеохимических потоков. С позиций охраны окружающей среды агроландшафты, которые уже занимают около 25% поверхности суши, следует рассматривать как элемент территории, активно участвующий в процессах, происходящих в биосфере. Разрушение ландшафтов или их элементов неизбежно ведет к ухудшению условий жизни человека. Например, важнейшим элементом любого ландшафта является почва. Она выполняет ряд функций. Почва участвует в формировании гидрологического режима, газового состава атмосферы, оказывает воздействие на литосферу, является средой обитания живых организмов [167]. Все эти функции почв имеют большое значение для формирования биогеохимических потоков в ландшафтах. Если при его освоении они будут нарушены, то можно ожидать соответствующих отрицательных проявлений, которые коснутся не только биоты, но и человека.

В настоящее время делаются попытки оптимизировать использование агроландшафтов [600]. Однако в целом этот вопрос во многом остается неясным и требует глубокого изучения. В целях улучшения организации природопользования в агроландшафте М.И. Лопырев предлагает сельскохозяйственную деятельность привести в соответствие с рядом принципов.

1. Агроландшафт должен быть максимально устойчивым и имитировать функции естественных.
2. Структура агроландшафта должна устанавливаться с учетом закона соответствия фитоценоза своему месту обитания.
3. При создании в агроландшафтах агроэкосистем ведущую роль в повышении их продуктивности следует отдавать фитомелиорации.
4. Искусственные агроэкосистемы должны создаваться с учетом необ-

ходимости пространственного и видового разнообразия, способствующих их экологической устойчивости и динамическому равновесию. Чем разнообразнее и сложнее структура ландшафта, тем выше его устойчивость, способность противостоять различным внешним воздействиям.

5. При освоении ландшафта следует учитывать микроразональное горизонтальное и вертикальное различия.

Все перечисленные принципы очень хорошо сочетаются с особенностями эколого-биосферного земледелия. В этом отношении оно имеет большое преимущество перед индустриально-технологическим. Основанное на постепенном снижении использования средств химизации, внедрении экологически безопасных способов повышения плодородия почв, поликультуры, плодосменных севооборотов, щадящей обработке почвы и агролесомелиорации, оно, по своей сути, не должно вызывать очень сильных изменений в средообразующих процессах, происходящих в ландшафте. Если они и будут обнаружены, то эколого-биосферное земледелие располагает различными экологически безопасными приемами, использование которых позволит устранить отрицательные последствия.

Первый вопрос, который возникает при оптимизации природопользования в агроландшафте, это допустимая степень его освоения. Однозначного ответа на него нет, так как невозможно найти абсолютно идентичные территории. В приложении к конкретному случаю допустимая степень освоения ландшафта может быть определена только на основе тщательного изучения ее особенностей. По различным оценкам приемлемая степень хозяйственного освоения большого региона, не изменяющая его природных свойств и качеств, составляет около 2/3 его площади. Не менее 1/3 должно остаться в состоянии, близком к естественному [218]. По мнению А.В. Яблокова и С.А. Остроумова, оптимальное соотношение интенсивно преобразованных человеком территорий и слабопреобразованных или вообще нетронутых составляет в зоне южной тайги 50/50, в зоне широколиственных лесов и лесостепи — 65—70/30—35, в степной зоне — 60—80/20—40. Меньшее допустимое освоение северных территорий объясняется их более слабой устойчивостью [606]. По другим данным, максимальная допустимая площадь пашни не должна превышать 25% [472].

Следующий шаг в оптимизации использования ландшафта — это определение допустимых соотношений между территориями, занимаемыми лесами, полями, лугами и пастбищами. Решение этого вопроса зависит от функций, выполняемых отдельными элементами ландшафта. Так, средозащитные свойства леса проявляются при лесистости территории не ниже 30—35% [367]. Несоблюдение этого положения повлечет за собой изменение гидрологического режима, климата, то есть условий обитания для живых организмов и роста сельскохозяйственных культур. Соотношение земель сельскохозяйственного использования зависит от рельефа, почв, выращиваемых культур, специализации животноводства.

В эколого-биосферном земледелии должен предусматриваться регулярный перевод пашни в пастбища и наоборот. Необходимость этого обусловлена тем, что изменение режима использования почв будет способствовать повышению их плодородия. Этот прием практиковался еще в доиндустриальную эпоху. При правильном пастбищном использовании уменьшается уплотнение почвы, на ее поверхности сохраняется растительность, увеличивается корневая масса, а с экскрементами животных в нее поступает большое количество органического вещества и минеральных элементов.

В определенном порядке должны эксплуатироваться и сенокосные угодья. Необходимо менять режим скашивания трав. В отдельные годы, в соответствии с сенокосооборотом, им следует предоставлять отдых для осеменения, а также переводить их в режим пастбищного использования. Это улучшит условия роста и размножения растений, обеспечение пищевым ресурсом диких животных и будет способствовать повышению устойчивости ландшафта в целом.

Необходимым элементом организации агроландшафта, полностью соответствующим сущности эколого-биосферного земледелия, является сохранение или полное изъятие из хозяйственного использования территорий, эксплуатация которых нецелесообразна ввиду их эколого-ландшафтной неустойчивости или представляющих ценность с точки зрения придания им статуса особо охраняемых территорий.

## **6.9. Экономические аспекты перехода на эколого-биосферное земледелие**

Развитие человеческой цивилизации невозможно без использования ресурсов биосферы. Темпы их освоения для обеспечения мирового хозяйства увеличиваются с каждым годом. В то же время в XX в. к нам пришло осознание того, что они не бесконечны. В недалеком будущем будут выработаны месторождения нефти, газа, каменного угля. Близки к исчерпанию запасы отдельных минералов [251]. В связи с этим в ближайшее время должны быть разработаны оптимальные стратегии использования ресурсов планеты.

В сельском хозяйстве основным ресурсом является почва. Интенсивная эксплуатация пахотных земель, которую мы наблюдаем до настоящего времени, ведет к снижению их плодородия, нарушению их биосферных функций, а значит, и усилению продовольственного кризиса, ухудшению условий жизни на планете [167]. Предотвратить деградацию земель и разрушение окружающей среды на аграрных территориях можно только за счет перевода земледелия на иную стратегию развития. В этой работе сделана попытка раскрыть особенности эколого-биосферного земледелия. Переход к нему, как нам кажется, позволит поддерживать продуктивность пашни на необходимом уровне, при минимальном искажении характера биогеохимических потоков, свойственных ландшафтам, не подвергнутым антропогенному

воздействию.

По нашему мнению, предлагаемая концепция развития земледелия является способом реализации в этой отрасли естественных природообразовательных процессов в биосфере. Их разумное использование позволит разрешить главное противоречие индустриального сельского хозяйства. Переход на экологическое земледелие дает возможность органично соединить лесоаграрные ландшафты с природными, не нарушая при этом естественного хода развития биосферы. По существу, эколого-биосферное земледелие следует рассматривать как закономерный этап совершенствования сельского хозяйства, преодоление которого приблизит человечество к ноосфере.

Однако переход на эколого-биосферное земледелие в России затруднен рядом обстоятельств. Во-первых, он затрудняется существующими общеэкономическими проблемами, во-вторых, у сельскохозяйственных предприятий отсутствует реальная заинтересованность в переходе на природоохранные технологии, в-третьих, в России пока еще не сформировался рынок экологически чистых продуктов питания, в-четвертых, полноценный переход на эколого-биосферное земледелие требует некоторых дополнительных затрат, в-пятых, на начальных этапах перехода может произойти небольшое снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Это является одним из основных сдерживающих факторов. Но экономические потери от снижения урожайности могут быть компенсированы более высокой ценой на производимые экологически чистые продукты питания.

Учитывая сложности, которые испытывает современное сельское хозяйство, переход на эколого-биосферное земледелие, очевидно, затянется на длительный период. Однако необходимо приложить усилия для его сокращения. В противном случае окружающей среде будет нанесен значительный ущерб. Ускорить процесс перехода на новые системы можно за счет использования экономических механизмов. Они состоят в создании у сельскохозяйственных предприятий заинтересованности в переходе на природоохранное земледелие. В рыночных условиях такой подход наиболее эффективен.

Экономическое стимулирование может осуществляться посредством принуждения и поощрения. Методы, основанные на принуждении, менее эффективны, так как они в лучшем случае обеспечивают выполнение предъявленных требований, но не создают базу для выявления резервов. Методы поощрения в этом плане более продуктивны. Оба метода не исключают друг друга и могут использоваться параллельно.

С точки зрения предотвращения загрязнения окружающей среды в агроландшафтах и создания экономических предпосылок для перехода на природоохранные формы земледелия необходимо максимально использовать уже существующую систему платежей за природопользование. Она предусматривает платежи за пользование земельными ресурсами, за загрязнение окружающей среды, за нарушение правил и норм природоохранного законодательства и платежи в возмещение вреда, причиненного экологическими



правонарушениями. Однако следует отметить, что по отношению к сельскохозяйственным предприятиям принятая система платежей практически не работает. Это обусловлено рядом причин. Во-первых, принято считать, что доля аграрного сектора в загрязнении окружающей среды минимальна. Во-вторых, в сельскохозяйственных районах отсутствуют службы, контролирующие состояние окружающей среды, что, кстати, и объясняет неверные представления о масштабах влияния аграрной сферы на природные объекты. В-третьих, экономический кризис в аграрной сфере имеет более тяжелые последствия, чем в промышленности. Многие сельскохозяйственные предприятия находятся на грани распада. Тем не менее, это не является основанием для непринятия мер по предотвращению загрязнения и разрушения окружающей среды. Очевидно, они должны осуществляться с учетом реального экономического состояния сельскохозяйственных предприятий.

В ряде европейских стран для повышения заинтересованности в переходе на природоохранные формы земледелия устанавливают налоги на применение средств химизации и различного рода финансовые выплаты. Это может использоваться и в России. Я.Я. Яндыганов рекомендует ряд способов стимулирования рационального природопользования. Многие из них в адаптированном варианте должны использоваться и для повышения заинтересованности в переходе на эколого-биосферное земледелие [615, 400].

Наиболее эффективными способами воздействия на природопользователей в аграрной сфере будут:

- платежи за загрязнение минеральными удобрениями, ядохимикатами и навозными стоками почв и водных объектов;
- платежи за размещение, складирование средств химизации и навоза в неподготовленных для этого местах;
- платежи за загрязнение водных объектов смываемой с полей почвой;
- платежи за разрушение почв в результате эрозии.

В целях поощрения перехода на эколого-биосферное земледелие, внедрения природоохранных способов обработки почвы или выращивания сельскохозяйственных культур следует применять:

- льготные платежи за использование земельных ресурсов;
- льготное налогообложение земельной собственности;
- разнообразные финансовые компенсации затрат на внедрение природоохранных способов обработки почвы или технологий выращивания сельскохозяйственных культур.

Сельскохозяйственным предприятиям могут быть компенсированы затраты на создание систем навозоудаления, складирования и внесение органических удобрений, включая затраты, необходимые для приобретения необходимой техники; затраты на приобретение техники для использования соломы и сидератов в качестве органических удобрений; затраты на приобретение семян многолетних и однолетних бобовых культур, бактериальных удобрений, усиливающих симбиотическую и ассоциативную азотфиксацию, а также

подготовку специалистов для перехода на природоохранные формы земледелия.

Выделение финансовых средств на указанные цели должно осуществляться из целевых земельных фондов, которые должны создаваться в каждом сельскохозяйственном районе. На счета этих фондов следует направлять платежи за использование земельных ресурсов, за загрязнение окружающей среды, вызванное сельскохозяйственной деятельностью, платежи за нарушение природоохранных норм и правил, штрафные платежи, платежи промышленных предприятий, деятельность которых приводит к загрязнению агроландшафтов, средства, передаваемые из региональных фондов охраны окружающей среды и департаментов и министерств сельского хозяйства.

Финансовые средства, накопленные на счетах земельных фондов, следует направлять на внедрение эколого-биосферных систем земледелия или отдельных их элементов, проведение мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв, расширение научных работ в направлении совершенствования природоохранных систем земледелия, организацию мониторинга окружающей среды в агроландшафтах, развитие рынка экологически чистых продуктов питания, пропаганду и популяризацию преимуществ эколого-биосферных систем земледелия.

Выделение средств из земельных фондов должно осуществляться на основе результатов всестороннего анализа представленных проектов по переходу предприятий на природоохранные системы земледелия. В качестве обоснования для вынесения положительного заключения могут использоваться такие критерии, как уменьшение загрязнения окружающей среды, снижение объемов применения средств химизации, использование экологически безопасных приемов и технологий, производство экологически чистой продукции. Экономическое поощрение может предоставляться на различной основе — в виде кредитов, субсидий, компенсаций, системы налоговых льгот.

Важным элементом экономического механизма стимулирования перехода на эколого-биосферное земледелие должна стать экологическая сертификация сельскохозяйственных продуктов. В этом заинтересованы и ее производители и потребители. Сертификация для производителя — это потенциальная возможность расширения рынка и повышения цены на предлагаемый товар, а для потребителя гарантия того, что продукт является безопасным в экологическом плане. Сертификат, подтверждающий качество продукта, должен выдаваться соответствующими органами, удостоверяющими, что в нем отсутствуют вредные вещества. Для предотвращения обезличивания продукта необходимо использовать соответствующую маркировку. Ответственность за введение сертификации лежит на государственных органах. В некоторых случаях право сертификации, очевидно, можно предоставлять и негосударственным структурам. Однако при этом должны быть соблюдены следующие моменты. Негосударственной сертификацией могут заниматься

предприятия, имеющие на это право, подтвержденное специальными документами, располагающие соответствующей материально-технической базой и высококласными специалистами. За деятельностью таких предприятий должен предусматриваться контроль со стороны государства, а на маркировке необходимо указывать организацию, осуществлявшую сертификацию. Соблюдение этих требований является гарантией правомерности выдачи сертификата.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самой острой проблемой современности, имеющей глобальный характер, является ухудшение качества окружающей среды. Если ранее это наблюдалось только в районах с развитой промышленностью, то в настоящее время экологический кризис очень быстро охватывает и большую часть аграрных территорий. Интенсивное нерегулируемое применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений и пестицидов привело к загрязнению почв, грунтовых вод, эвтрофированию водоемов. Обеднение агроландшафтов различными формами жизни, происходящее в результате использования традиционных приемов выращивания сельскохозяйственных культур, снижает общую экологическую устойчивость агробиогеоценозов и провоцирует появление сорной растительности, возникновение эпифитотий и массового размножения вредных насекомых. Кроме того, возникли серьезные проблемы с ухудшением вкусовых, товарных и технологических показателей растениеводческой продукции, снижением ее биологической полноценности. Повсеместно отмечается загрязнение продовольствия и кормов средствами защиты растений и тяжелыми металлами. Вот далеко не полный перечень проблем, вызванных противоречиями современного сельского хозяйства, свидетельствующих о его кризисном состоянии. С одной стороны, в решении продовольственного вопроса важная роль отводится индустриально-технологическим системам земледелия, а с другой, они же являются причиной ухудшения среды обитания человека.

Возникновение указанных проблем чаще всего связывают не с химизацией сельского хозяйства, как одного из направлений повышения его эффективности, а с нарушением или несовершенством технологий применения минеральных удобрений и пестицидов. Это утверждение дает основание для создания целого фронта поисковых работ, направленных на разработку новых способов и приемов использования средств химизации, позволяющих "притупить" остроту возникших проблем. Однако их изыскание, а в последующем и внедрение потребуют непомерных финансовых, трудовых и сырьевых затрат. Такой путь развития сельского хозяйства приведет к очень быстрому истощению всех невосполнимых ресурсов биосферы и поэтому не может устроить человечество. К тому же стратегия развития мирового хозяйства, построенная на эксплуатации природных ресурсов, превращении биосферы в искусственную среду приведет к тому, что для создания нормальных условий значительную часть энергетических и трудовых затрат придется расходовать на сохранение круговоротов веществ, обеспечивающих ее стационарность.

Для выхода из кризисного состояния предложена новая концепция развития земледелия. В ее основе лежит активизация естественных почвооб-

разовательных процессов, улучшение биологических свойств почв, использование смешанных посевов сельскохозяйственных культур, плодосменных севооборотов и создание лесоаграрных ландшафтов. Ведение земледелия с учетом указанных положений позволит постепенно снизить влияние аграрной сферы на окружающую среду и добиться высокой продуктивности пашни без отрицательного воздействия на биосферу планеты.

Перевод сельского хозяйства на новую стратегию развития зависит от того, насколько быстро изменятся наши подходы в оценке целесообразности использования отдельных приемов. Сейчас уже нельзя рассматривать современные способы выращивания культурных растений только с одной точки зрения — повышения урожайности. Их влияние распространяется вообще на окружающую среду, а значит, старые, по существу упрощенные подходы в определении перспективности индустриально-технологических систем земледелия неприемлемы. Многосторонний анализ развития земледелия, который был сделан нами в работе "Проблемы научно-технического прогресса в земледелии", показывает, что любые повышающие урожайность сельскохозяйственных культур агротехнические приемы в историческом аспекте следует рассматривать как временный фактор, роль которого непостоянна.

Бесспорно, резкое сокращение объемов применения средств химизации в земледелии приведет к заметному сокращению производства продуктов питания. Да это и невозможно в сложившихся социально-производственных отношениях. Поэтому переход к эколого-биосферному земледелию должен осуществляться постепенно, по мере его совершенствования. Необходимо также учитывать, что реализовать потенциальные возможности эколого-биосферного земледелия можно только при условии комплексного подхода. На основании всестороннего анализа многочисленных данных можно сделать следующие выводы.

1. Прогноз, сделанный в 70-х гг., об увеличении объемов мирового производства и потребления минеральных удобрений к 2000 г. до 307 млн. т действующего вещества не оправдался. В развитых странах в конце XX в. наблюдается стабилизация или даже снижение объемов использования минеральных удобрений.

2. Нерациональное применение минеральных удобрений является одной из причин изменения биогеохимических потоков в агроландшафтах и накопления биогенов в поверхностных и грунтовых водах. В результате этого нарушается устойчивость экосистем и агроландшафтов, что проявляется в эвтрофировании водоемов.

3. Неконтролируемое применение средств химизации, особенно в дозах, превышающих оптимальные уровни, приводит к появлению в продукции сельского хозяйства нитратов, химических элементов, содержащихся в удобрениях, остатков ядохимикатов. Ухудшается ее биологическая полноценность, потребительские и технологические показатели. Эти изменения не носят комплексного характера, тем не менее, в своей совокупности являются

причиной снижения качества продуктов питания.

4. При долгосрочной ориентации на использование в сельском хозяйстве средств химизации следует иметь в виду наблюдающееся ухудшение качества и ограниченность запасов традиционных природных ресурсов, которые используются для их производства. Кроме того, применение минеральных удобрений и ядохимикатов в перспективе будет ограничиваться необходимостью соблюдения экологических требований. Это увеличит затраты на их производство и снизит экономическую эффективность использования.

5. Средства химизации, особенно в высоких дозах, оказывают очень сильное влияние на отдельные структурные компоненты агробиогеоценоза. Для одних видов живых организмов оно носит положительный, а для других отрицательный характер. В целом под воздействием средств химизации агробиогеоценоз выходит из устойчивого состояния. Для удержания его на уровне, который обеспечивает достаточную продуктивность, необходимы дополнительные затраты. Их размер при сохранении существующих подходов к повышению урожайности культурных растений с течением времени будет увеличиваться.

6. В современных условиях необходимо начать разработку и внедрение природоохранных форм земледелия.

7. В эколого-биосферном земледелии основным направлением в повышении плодородия почв должно стать улучшение их биологических свойств. Для этого следует использовать органические удобрения, сидераты, солому, выращивание бобовых культур, активизацию симбиотической и ассоциативной азотфиксации. Все эти приемы улучшают биологические свойства почвы и способствуют усилению почвообразовательного процесса.

8. Большим резервом в обогащении почвы органическим веществом, повышении ее биогенности, активизации почвообразовательного процесса должно стать использование выделительных функций корневых систем. Это свойство растений необходимо усилить селекционным и агротехническим способом.

9. Фотосинтез, азотфиксацию и почвообразование следует рассматривать как структурные компоненты одной системы, взаимодействующие между собой через прямые и обратные связи. Даже временное подавление любого из этих компонентов отрицательно влияет на другие составляющие. Связь фотосинтеза с азотфиксацией и почвообразованием в агроэкосистемах реализуется через корневые выделения растений.

10. В эколого-биосферном земледелии должны использоваться севообороты, которые в максимальной степени способствуют реализации экологически безопасных способов повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Следует отказаться от насыщения севооборотов одной культурой и переходить к плодосмену.

11. Эколого-биосферное земледелие должно основываться на создании устойчивых агрофитоценозов. Для этого необходимо шире использовать

возможности смешанных посевов. Подбор компонентов для поликультур должен осуществляться с учетом взаимовлияния растений.

12. Для повышения устойчивости агроэкосистем в агроландшафтах следует создавать определенным образом сконструированные элементарные лесоаграрные единицы. Это положение эколого-биосферного земледелия хорошо сочетается с требованиями оптимальной организации агроландшафта.

13. Эколого-биосферное земледелие в определенной степени снимает обострение глобальных эколого-экономических проблем и создает условия для участия аграрной отрасли в их разрешении.

14. Для повышения заинтересованности сельскохозяйственных предприятий в переходе на эколого-биосферное земледелие необходимо внедрять систему экономического стимулирования. Она должна основываться на платежах за отрицательное воздействие на окружающую среду и мерах финансового поощрения за использование в земледелии природоохранных технологий.

15. Эколого-биосферное земледелие следует рассматривать как закономерный этап развития аграрной отрасли. Его обособление из общей картины развития обусловлено рядом эколого-экономических обстоятельств и изменениями в воззрениях на взаимодействие человека с окружающей его средой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Абакумов Н. К.* Рассказ о химической экологии // *Химия и жизнь*. 1978. № 12. С. 55—63.
2. *Абуева А. А.* Влияние гербицидов на лен-долгунец в потомстве // *Изв. ТСХА*. 1966. № 4. С. 53—64.
3. *Абуева А. А., Марчева В. Е., Абдуллин Р. С.* Действие и последствие гербицидов в посадках земляники // *Изв. ТСХА*. 1968. № 5. С. 130—143.
4. *Авдонин Н. С.* Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции. М.: Колос, 1979. 302 с.
5. *Авдонин Н. С., Лебедева Л. А.* Влияние длительного применения удобрений и известкования на свойства кислых почв // *Агрохимия*. 1970. № 7. С. 3—И.
6. *Аветисян А. В., Шахатуни М. О.* К вопросу об исследовании отдаленных последствий влияния нитратов // *Окружающая среда и здоровье населения*. Таллинн, 1984. С. 68—69.
7. *Агесс П.* Ключи к экологии. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 96 с.
8. *Алейникова М. М., Утробина Н. М.* Направления, основные этапы и результаты работ по изучению животного населения почв в агро-биогеоценозах Среднего Поволжья // *Формирование животного и микробного населения агроценозов*. М.: Наука, 1982. С. 6—8.
9. *Алекин Ю. А., Драбкова В. Г., Коплан-Дикс И. С.* Проблема эвтрофирования континентальных вод // *Антропогенное эвтрофирование природных вод*. Черноголовка, 1985. С. 25—34.
10. *Алекперов У. К.* Антимутагены и охрана генофонда. М.: Знание, 1989. 64 с.
11. *Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
12. *Алексидзе Г. Н.* Об оптимальной концентрации фосфоорганических препаратов, эффективных против тлей и безвредных для эято-мофагов // *Хим. в сел. хоз.* 1969. № 12. С. 98.
13. *Алиев С. А.* Азотфиксация и физиологическая активность органического вещества почв. Новосибирск: Наука, 1988. 145 с.
14. *Алмазов Б. Н.* Изменение продуктивности овощного севооборота и плодородия выщелоченного чернозема в зависимости от применения органических и минеральных удобрений // *Агрохимия*. 1990. № 1. С. 53—60.
15. *Ананьева Н. Д., Сухопарова В. П., Макарова Т. В. и др.* Поведение и микробиологическая токсикация фунгицида ридомила в буроземной почве ЧСФР // *Агрохимия*. 1991. № 2. С. 104—109.
16. *Андреюк Е. И.* Биологические активные вещества актиномицетов как фактор влияния на высшие растения // *Микроорганизмы в сельском хо-*



зяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 301—307.

17. *Андреюк Е. И., Иутинская Г. А., Дульгеров Д. Н.* Почвенные микроорганизмы и интенсивное землепользование. Киев: Наукова думка, 1988. 192 с.

18. *Андрианов А. П., Ильницкий А. П., Славная И. Л., Стрижак К. К.* Онкологическая профилактика — путь к снижению онкологической заболеваемости. М., 1989. 76 с.

19. *Андрюченко В. А.* Динамика численности и биомассы микроартропод в черноземе типичном под культурами зерново-свекловичного севооборота // Проблемы почвенной зоологии. Минск: Наука и техника, 1978. С. 18—19.

20. *Аникина А. П.* Фосфор и калий // Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука, 1989. С. 46—71.

21. *Анохина Ю. Р.* Роль массовых видов птиц в регуляции численности насекомых // Формирование животного и микробного населения агроценозов. М.: Наука, 1982. С. 107—109.

22. *Анспек П. И.* Микроудобрения. Л.: Колос, 1978. 272 с.

23. *Антirezистентная стратегия борьбы с фитофторозом, пероноспорозом, милдью* // Защ. раст. 1989. № 5. С. 160—62.

24. *Аристовская Т. В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.

25. *Армолайтис К.Э., Вайчис М.В., Онюнас В.М., Бараускас Р.И.* Изменение физико-химических свойств почв под влиянием выбросов завода азотных удобрений // Почвоведение. 1992. № 7. С. 114—119.

26. *Артамонов В. И.* Через прошлое в будущее // Хим и жизнь. 1986. № 11. С. 41—45.

27. *Артёмьева Т. И.* Влияние удобрений на почвенных беспозвоночных торфяников // Почвенная фауна и биологическая активность осушенных и рекультивируемых торфяников. М.: Наука, 1980. С. 137—169.

28. *Артёмьева Т. И., Борисович Т. М., Вертоградская И. Л. и др.* Влияние удобрений на динамику почвенного населения и микробиологические процессы при освоении выработанных торфяников // Проблемы почвенной зоологии. Вильнюс, 1975. С. 68—70.

29. *Артюшин А.М., Дерюгин И.П., Кулюкин А.Н., Ягодин Б.А.* Удобрение в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1991. 223 с.

30. *Архипов П. П., Кальченко В. А., Шевченко В. А. и др.* Влияние тяжелых естественных радиоактивных нуклидов, вносимых в почву с мечеными удобрениями и мелиоратами, на цитогенетические эффекты у растений // Экология. 1984. № 5. С. 38—42.

31. *Атлашвили О.П., Дачюлите Я.Л., Лугаускас А.Ю.* Влияние трихлорацетата натрия на почвенные организмы и накопление витамина В<sub>12</sub> в почве // Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйст-

венных культур. Вильнюс, 1978. С. 30.

32. *Атлавините О.* Влияние пестицидов на педобионты и биологическую активность почв. Вильнюс: Мокслас, 1982. 65 с.

33. *Атлавините О. П.* Влияние монокультур на видовой состав и численность дождевых червей // Формирование животного и микробного населения агроценозов. М.: Наука, 1982. С. 36—37.

34. *Атлавините О. П.* Экология дождевых червей и их влияние на плодородие почвы в Литовской ССР. Вильнюс: Мокслас, 1975. 202 с.

35. *Атлавините О., Гальвялис Г.* Различное влияние пестицидов на дождевых червей без растений и с растениями в почве // Проблемы почвенной зоологии. Минск: Наука и техника, 1978. С. 22—23.

36. *Атлавините О.П., Будавичене И.А., Дачюлите Я.А., Лугаускас А.Ю.* Влияние органических удобрений на численность микроорганизмов и накопление витаминов группы В в почве // Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1978. С. 28.

37. *Ахметьева П.А., Лола М.В., Горецкая А.Г.* Загрязнение грунтовых вод удобрениями. М.: Наука, 1991. 100 с.

38. *Бабьева И. П., Зенова Г. М.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.

39. *Баева Р.И., Гагарина Э.И., Горбовская АД. и др.* Нарушение природных экосистем в районе добычи фосфоритов // Почвоведение. 1992. №5. С. 68—102.

40. *Базилинская М. В.* Ассоциативная азотфиксация злаковыми культурами. М., 1988. 44 с.

41. *Базилинская М. В.* Улучшение обеспечения растений макро- и микроэлементами за счет деятельности почвенных микоризных грибов М., 1990. 52 с.

42. *Балуев В., Ветрова М., Коротаев Б.* Об охране полезных насекомых // Вопросы экологии и охраны животного мира нечерноземной зоны РСФСР. Иваново, 1978. С. 152—160.

43. *Барбер С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.

44. *Басманов А.Е., Кузнецов А.В.* Экологическое нормирование применения удобрений в современной земледелии // Вести, с.-х. науки. 1990. №8. С. 88—91.

45. *Баталова Т. С, Бегляров Г. А., Бешанов А. В. и др.* Системы защиты растений. Л.: Агропромиздат, 1988. 367 с.

46. *Бачурин Б.* Верхнекамский калий и охрана геологической среды // Наука Урала. 1988. № 47 (397).

47. *Башкин В.Н.* Влияние агрохимикатов на судьбу соединений — предшественников онкозаболеваний в природных водах и пищевых продуктах // Вести, с.-х. науки. 1990. № 6. С. 15—20.

48. *Башкин В.Н.* Экологически оптимальная биопродуктивность агро-

ландшафтов // География и природ. ресурсы. 1991. № 3. С. 15—22.

49. *Безносиков В.А.* Трансформация азотных удобрений и влияние их на физико-химические свойства подзолистых почв и продуктивность агроценоза // *Агрохимия*. 1997. № 4. С. 5—12.

50. *Белицына Г. Д., Дронова Н. Я., Томилина Л. Н.* Влияние тяжелых металлов на ферментативную активность почв // Тез. докл. VII делегат, съезда Всесоюз. о-ва почвов. Ташкент, 1985. Ч. 2. С. 182.

51. *Белявская Л. И., Белянина С. И., Егорова Г. Г. и др.* Токсичность химических средств для гидробионтов // *Хим. в сел. хоз.* 1981. № 10. С. 41—43.

52. *Бердышев А.П.* Андрей Тимофеевич Болотов — выдающийся деятель науки и культуры. М.: Наука, 1988. 320 с.

53. *Березин Л.В.* Снижать риск загрязнения растений при гипсовании солонцов // *Земледелие*. 1991. № 10. С. 54—56.

54. *Берестецкий О. А.* Биологические факторы повышения плодородия почв // *Вестн. с.-х. науки*. 1986. № 3. С. 29—38.

55. *Берестецкий О. А.* Фиксация атмосферного азота микроорганизмами в ризосфере и на корнях небобовых культур // *Микробиология*. 1986. Т. 55, вып. 1. С. 158—159.

56. *Берестецкий О. А., Васюк Л. Ф., Элисашвили Т. А. и др.* Эффект инокуляции тимофеевки луговой и овсяницы тростниковидной диа-зотрофами из природных азотфиксирующих ассоциаций злаков // *С.-х. биол.* 1985. № 3. С. 48—52.

57. *Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Попова Ж. П.* Изменение микробного ценоза дерново-подзолистой почвы под влиянием бессменного выращивания сельскохозяйственных растений // *Докл. ВАСХНИЛ*. 1981. № 8. С. 13—15.

58. *Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Попова Ж. П.* Микрофлора дерново-подзолистой почвы при выращивании сельскохозяйственных культур в севообороте и бессменно // *С.-х. биол.* 1983. № 8. С. 101—104.

59. *Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Попова Ж. П., Баскова Г. П.* Микробиологическое почвоутомление под пшеницей и пути его устранения // *Вестн. с.-х. науки*. 1984. № 10. С. 117—121.

60. *Берестецкий О. А., Кравченко Л. В.* Летучие органические соединения прорастающих семян как источник энергии для почвенных микроорганизмов // *С.-х. биол.* 1980. № 6. С. 878—881.

61. *Берим Н. Г., Христофорова Л. Н.* Результаты определения остатков ГХЦГ и ГПХ в растениях капусты // *Хим. в сел. хоз.* 1969. № 6. С. 32—33.

62. *Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология. — М.: Мир, 1989. Т. 1. 667 с.

63. *Биргер Т. К., Маляревская А. Я., Арсан О. Н.* К этиологии гафской (юксово-сартланской) болезни // *Гидробиол. журн.* 1973. № 2. С. 116—1126.

64. *Битюкова Л.Б., Зиль А.М., Ромейко ИМ.* Действие метаболитов

бактерий-ингибиторов на развитие овса // Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1978. С. 48—50.

65. *Благовещенская З. К., Могиндовид Л. С.* Потери питательных веществ удобрений в интенсивном земледелии. М., 1987. 62 с.

66. *Блинкин С. А., Рудницкая Т. В.* Фитонциды вокруг нас. М.: Знание, 1981. 144 с.

67. *Блинников В. И., Куликов Н. И.* Влияние интенсивного движения колесного транспорта по полю на крупных почвенных беспозвоночных // Проблемы почвенной зоологии. Тбилиси: Мецннераба, 1987. С. 38—39.

68. *Блузманас П.И., Мейлуте Д. С., Пинайтите Н.П., Пинкевичюте С.А.* Влияние витаминов группы В на образование корневых клубеньков и биосинтез белковых веществ у кормового люпина // Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1978. С. 51.

69. *Бобрицкая М. А.* Вымывание питательных элементов из пахотных почв нечерноземной зоны РСФСР // Агрохимия. 1975. № 11. С. 142—153.

70. *Бобров Р.* Беседы о лесе. М.: Молодая гвардия, 1979. 240 с.

71. *Боговский П. А.* Проблема канцерогенных нитрозосоединений в связи с применением азотсодержащих веществ в сельском хозяйстве // Канцерогенные вещества в окружающей среде. М.: Гидрометеиздат, 1979. С. 14—19.

72. *Боднар Б. К., Полушина П. Л.* Некоторые методы регуляции численности мышевидных грызунов в агробиоценозах // Влияние антропогенной трансформации ландшафтов на население наземных позвоночных животных. Тез. Всесоюз. совещ. М. 1987. Ч. 1. С. 76—78.

73. *Бойко В. С., Дегтярева М. Г., Казакова И. П.* Влияние 2,4-Д и симазина на микрофлору и пищевой режим серых лесных почв // Хим. в сел. хоз. 1969. № 3. С. 43—47.

74. *Болотникова М. Г.* Влияние нитратов на состояние щитовидной железы белых крыс в условиях сбалансированного и разбалансированного по содержанию белка и углеводов питания // Окружающая среда и здоровье населения. Таллинн, 1984. С. 75—76.

75. *Бондарев Н.Г.* Микроэлементы — благо или зло. М.: Знание, 1984. 144 с.

76. *Бондаренко Н. В.* Биометод в интегрированной защите растений от вредителей и болезней // С.-х. биол. 1988. № 3. С. 112—116.

77. *Борисова Л. М., Борисов В. А.* Влияние длительного применения разных систем удобрения в овощекормовом севообороте на накопление, миграцию и потери азота в аллювиальной луговой почве // Агрохимия. 1986. № 3. С. 3—7.

78. *Браун А.* Жизнь в почве // Экологические очерки о природе и человеке. М.: Прогресс, 1988. С. 181—194.

79. *Бродский Е. С., Калинкевич Г. А., Лукашенко И. М. и др.* Изменение

структуры органического вещества почвы при внесении минеральных удобрений и известковании // Изв. ТСХА. 1988. Вып. 6. С. 180—183.

80. *Бруннер Ю.М., Колесников Л.О.* Влияние способов обработки почвы на фауну жужелиц агроценозов лесостепи левобережной Украины // IX Международный коллоквиум по почвенной зоологии. Вильнюс, 1985. С. 44.

81. *Булаткин Г. А.* Эколого-энергетические аспекты продуктивности агроценозов. Пушино, 1986. 209 с.

82. *Булаткин Г.А.* Оптимизация продуктивности агроценозов // Вестн. с.-х. науки. 1990. №4. С. 30—37.

83. *Булгаков А. А., Коноплев А. В., Помещиков В. Д.* Фотохимическая трансформация гербицида 2,4-Д в воде // Науч. тр. Ин-та эксперим. метеорол. Вып. 16 (133). М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 68—78.

84. *Булыгина Т.Г.* Проблемы и возможные пути преодоления последствий химизации сельского хозяйства Белоруссии // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1994. № 2. С. 73—78.

85. *Буслович С. Ю., Дубенецкая М. М.* Химические вещества и качество продуктов. Минск: Ураджай, 1986. 200 с.

86. *Бызов Б.А., Зенова Г.М., Бабкина Н.И., Добровольская ТТ., Третьякова Е.Б., Звягинцев ДГ.* Актиномицеты в пище, кишечнике и экскрементах почвенных многоножек *Polytuilis Elavipes* C. L. Koch // Микробиология. 1993. Т. 62, вып. 5. С. 916—927.

87. *Быков Б. А.* Экологический словарь. Алма-Ата: Наука, 1988. 212 с.

88. *Вавилов П. П., Посыпанов Г. С.* Бобовые, азот и проблема белка // Вестн. с.-х. науки. 1978. № 9. С. 44—56.

89. *Вавуло Ф. Л.* Микрофлора ооновных типов почв БССР и их плодородие. Минск: Ураджай, 1972. 232 с.

90. *Важенин И. Г.* О нормировании загрязненности почвы выбросами промышленных предприятий // Хим. в сел. хоз. 1985. № 6. С. 42—45.

91. *Валлнер Л. К, Иоханнес Э. Я., Иыгар Л. Э. и др.* Влияние освоения фосфоритовых месторождений Раквереского района на гидросферу в Эстонии // Проблемы охраны литосферы в СССР. Таллинн, 1988. С. 8—13.

92. *Варнавская В. А., Зайцев В. В.* Влияние нитратов и нитритов в кормах на здоровье животных // Зоотехния. 1988. № 5. С. 59.

93. *Варюшкина Н.М., Кирпанова Л.И.* Трансформация азота удобрений при ежегодном их внесении в дерново-подзолистую почву // Почвоведение. 1984. № 10. С. 116—120.

94. *Васильев В. А., Лукьяненко И. М., Минеев В. Г. и др.* Органические удобрения в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1984. 303 с.

95. *Васильева Г.К., Суровцева Г.К, Семенова Н.А., Сапелкин В.К.* Влияние интенсивного применения пестицидов при выращивании риса на загрязнение окружающей среды и почвенный микробоценоз: Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов. Пушино, 1988. С. 147—148.

96. *Васьковская Л. Ф.* Организмы-индикаторы загрязнения окружающей среды пестицидами // Хим. в сел. хоз. 1977. № 6. С. 92—55.

97. *Васюк Л. Ф.* Азотфиксирующие микроорганизмы на корнях бобовых растений и их практическое использование // Биологический азот в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1989. С. 88—98.

98. *Васюков Ю.В., Саранин Е.К.* Экологическое сельское хозяйство и его перспективы в России // Аграрная наука. 1995. № 1. С. 18—20.

99. *Велдре И.А., Роома М.Я.* Применение минеральных удобрений и уровень нитратов в овощах и воде // Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агрофитоценозов. Пушчино, 1988. С. 148—149.

100. *Вендило Г.Г., Чередниченко И.Н., Скарфинский А.А. и др.* Условия выращивания и качество продукции // Хим. в сел. хоз. 1989. № 1. С. 49—51.

101. *Веретенников Ю.* Еще раз о пестицидах // Вестник агропрома. 1989. № 49.

102. *Веретенников Ю.* Пестициды: вред или польза? // Аргументы и факты. 1989. № 11.

103. *Вернадский В. И.* Несколько слов о ноосфере // Начало и вечность жизни. М.: Сов. Россия, 1989. С. 166—188.

104. *Вернадский В. И.* Очерки геохимии // Начало и вечность жизни. М.: Сов. Россия, 1989. С. 113—119.

*Ю5. Вечерний* Свердловск. 1989. 22 апр.

106. *Власенко Н.Г., Кузнецова Т.Т., Штундюк Д.А.* Влияние пестицидов на микрофлору почвы под посевом ярового рапса // Агрохимия. 1993. № 11. С. 68—75.

107. *Власюк П. А.* Влияние условий питания на потемнение клубней картофеля // Физиол. и биохим. культ, раст. 1978. Т. 110. № 3. С. 283—286.

108. *Возняковская Ю. М.* Микрофлора растений и урожай. Л.: Колос, 1969. 240 с.

109. *Возняковская Ю. М.* Некоторые аспекты взаимодействия здоровых растений с микроорганизмами // Методологические проблемы аллелопатии. Киев: Наукова думка, 1989. С. 65—72.

110. *Возняковская Ю. М., Берестецкий О. А.* Почвенно-микробиологические процессы в севооборотах // Биологические основы плодородия почв. М.: Колос, 1984. С. 188—233.

111. *Войтов В. Е.* Изменение морфологических признаков у озимой пшеницы // Селекция и семеноводство. 1979. № 2. С. 60.

112. *Волкова Е. Н., Семихатова О. А.* Почвенная и ризоферная микрофлора при внесении эптама на свекловичных высадках // Хим. в сел. хоз. 1969. № 11. С. 46—49.

113. *Володько И. К.* Микроэлементы и устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Минск: Наука и техника, 1983. 192 с.

114. *Воробьев С. А., Сафонов А. Ф.* Агрегатный состав и водопрочность

почвы под полевыми культурами в севообороте и бессменных посевах // Изв. ТСХА. 1977. № 5. С. 56—62.

115. *Воробьев С. А., Четвертня А. М.* Биологическое земледелие // Агрономические основы специализации севооборотов. М.: Агропром-издат, 1987. С. 22—29.

116. *Воробьева Н. М., Коган И. З.* О токсичности нитратов и их нормах в овощных культурах. Таллинн, 1984. С. 78—79.

117. *Воробьева Т. Н.* Остатки эупарена в ягодах винограда // Хим. в сел. хоз. 1980. № 10. С. 41—42.

118. *Воронова Л. Д., Денисова А. В., Пушкарь И. Г.* Влияние пестицидов на фауну наземных экосистем. М., 1981. 78 с.

119. *Вострое И. С.* Рациональное использование микроорганизмов для повышения потенциального плодородия почв // Вестн. с.-х. науки. 1989. № 1. С. 103—109.

120. *Вракин В. Ф., Ковальчук И. С.* Влияние нитратов на организм жвачных. М., 1984. 70 с.

121. *Гавва И. А.* Химизация сельского хозяйства и охрана окружающей среды. М.: Россельхозиздат, 1983. 45 с.

122. *Гамзиков. Г. П., Емельянова В. К., Кулагина М. Н.* Влияние длительного применения удобрений на гумусный и азотный фонд дерново-подзолистых почв // Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов. Пушкине, 1989. С. 72—73.

113. *Гапонюк Э. К., Бобовникова Ц. И., Кремленкова Н. П.* Фосфорные удобрения как возможный источник химического загрязнения почв // Хим. в сел. хоз. — 1982. Т. 20, № 12. С. 40—42.

124. *Гармаш Н. Ю.* Тяжелые металлы и качество зерна пшеницы // Хим. в сел. хоз. 1985. № 6. С. 48—49.

125. *Гельцер Ф. Ю.* Симбиоз с микроорганизмами — основа жизни растений. М.: Изд. ТСХА, 1990. 134 с.

126. *Гельцер Ю. Г.* Почвенные простейшие естественных биогеоценозов и агроценозов // Почвенные организмы как компоненты биогеоценоза. М.: Наука, 1984. С. 103—114.

127. *Гельцер Ю. Г.* Простейшие почв поймы реки Клязьмы и методы их интенсификации и количественного учета // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 178—194.

128. *Гельцер Ю. Г.* Участие protozoa в почвенном плодородии и их индикационное значение // Проблемы почвенной зоологии. Тбилиси, 1987. С. 68—69.

129. *Гербант А. Г., Данилюк Н. М.* Роль почвенных микроорганизмов как продуцентов витаминов в интенсификации протекания физиологических процессов в растениях // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ. 1970. С. 286—294.

130. *Германов М. И.* Микробиология. М.: Просвещение, 1969. 227 с.

131. Гетманец А. Я., Кляезо С. П. Влияние уровня азотного питания на содержание и качество белка зерна кукурузы в условиях орошения // Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пущино, 1982. С. 157—158.
132. Гиллис М. Б. Рациональные способы внесения удобрений. М.: Колос, 1975. 240 с.
133. Гиляров М., Криволуцкий Д. Жизнь в почве. М.: Молодая гвардия, 1985. 191 с.
134. Глаголева О.Б., Умаров М.М., Злотников А.К. Нитрогеназная активность ризосферных diaзотрофных бактерий в чистых и смешанных посевах // Микробиология. 1994. Т. 63, вып. 2. С. 221—227.
135. Гладенко И. Н., Малинин О. А., Шуляк В. Д. и др. Токсикологическая и ветеринарно-санитарная характеристика кельтана // Ветеринария. Киев: Урожай, 1988. С. 59—62.
136. Говорина В.В., Виноградова СБ. Минеральные удобрения и загрязнение почв тяжелыми металлами // Химиз. сел. хоз. 1991. № 3. С. 87—90.
137. Гоголев И.А. Некоторые результаты отечественных экологических исследований и разработок в 1989 году // Пробл. окр. ср. и пр. рее. 1990. № 7. С. 84—124.
138. Голицын С.Г. Парниковый эффект и изменения климата // Природа. 1990. №7. С. 17—24.
139. Тожербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
140. Голованова Э. Н. Птицы над полями. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 232 с.
141. Головина Л. П., Лысенко М. К, Барнаш З. С, Котвицкий Б. Б. Биологический круговорот микроэлементов под сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах в Полесье УССР // Хим. в сел. хоз. 1984. Т. 12. № 2. С. 20—24.
142. Головлева Л.А., Финкельштейн З.И., Перцова Р.И. Роль микроорганизмов в разложении пестицидов в окружающей среде // Результаты научных исследований в практику сельского хозяйства. М.: Наука, 1982. С. 64—73.
143. Голубев А.В. Экономико-экологическая оценка химизации земледелия // Достижения науки и техники АПК. 1993. №2. С. 15—17.
144. Гомонова Н. Ф. Влияние 35-летнего применения минеральных удобрений и извести на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в метровом профиле // Агрохимия. 1980. № 10. С. 38—46.
145. Гопций Т.И. Аллелопатические свойства прорастающих семян культур-доноров и их использование для повышения продуктивности кукурузы // Агрофитоценозы и экологические пути повышения их стабильности и продуктивности. Ижевск, 1988. С. 31—32.
146. Гордылее М.И. Влияние пестицидов на биоценоз пшеничного по-



ля в условиях лесостепи Западной Сибири // *Агрохимия*. 1992. С. 122—125.

147. *Горишков В. Г., Кондратьев К. Я., Шерман С. Г.* Устойчивость биосферы и сохранение цивилизации // *Природа*. 1990. № 7. С. 3—16.

148. *Горюнова С. В., Демина Н. С.* Водоросли — продуценты токсических веществ. М.: Наука, 1974. 256 с.

149. *Гращенко С. К., Драчко В. Ф., Крисюк Э. М. и др.* К нормированию концентрации естественных радионуклидов в фосфорных удобрениях // *Гиг. и сан.* 1981. № ГС. 84—86.

150. *Гриб Н. И., Найдено А. И., Постаева Е. В.* Влияние бессменной культуры озимой ржи на ее урожай и плодородие темно-серой оподзоленной почвы // *Агрохимия*. 1973. № 2. С. 57—65.

151. *Григорьянц И. К., Балабушевич А. Г., Тряхонина Г. А. и др.* Системы длительного контролируемого дозирования питательных веществ для растений // *Вестн. с.-х. науки*, 1987. № 7. С. 126—129.

152. *Гродзинский А. М.* Санитарная роль крестоцветных культур в севообороте // *Аллелопатия и продуктивность растений*. Киев: Наукова думка, 1990. С. 3—14.

153. *Гродзинский А. М., Миркин Б. М., Головкин Э. А., Туганов В. В.* Перспективы функциональной агрофитоценологии // *Методологические проблемы аллелопатии*. Киев: Наукова думка, 1989. С. 15—28.

154. *Громова В.С.* Некоторые закономерности образования токсичных газообразных продуктов дегазации пестицидов в почве // *Гиг. и сан.* 1990. №8. С. 22—25.

155. *Груздев Л. Г., Раскин М. С., Ускова Л. А., Посмитная Л. В.* Влияние нового комплексного гербицида диалена на некоторые качественные показатели зерна овса // *Докл. ТСХА*. 1975. № 12. С. 12—13.

156. *Груздев Л. Г., Раскин М. С., Миролюбов И. Г., Фомин А. В.* Биологическая ценность зерна, выращенного с применением гербицидов // *Докл. ВАСХНИИ*: 1978. № 10. С. 20—22.

157. *Гузев В. С., Кураков А. В., Мирчинк Т. Г.* Минеральные удобрения и микробный токсикоз почв // *Экологическая роль микробных метаболитов*. М.: Изд-во МГУ. 1986. С. 65—82.

158. *Гузев В. С., Вызов Б. А., Гузева Л. Н., Звягинцев Д. Г.* Изучение методом сканирующей электронной микроскопии взаимодействия микроорганизмов с беспозвоночными животными // *Экологическая роль микробных метаболитов*. М.: Изд-во МГУ, 1986. С. 212—231.

159. *Гуревич С. М., Скороход В. И.* Влияние длительного применения минеральных удобрений на агрохимические свойства и плодородие мощного чернозема // *Агрохимия*. 1969. № 9. С. 27—31.

160. *Давыденко Н.В., Василенко И.Г.* Содержание магния в рационах питания населения и распространенность ишемической болезни сердца среди населения // *Гиг. и сан.* 1991. № 5. С. 44—46.

161. *Державин Л.М.* Химизация и экология // *Хим. в сел. хоз.* 1991. №

7. С. 3—7.

162. Джунипер Б. Э., Джеффри К. Э. Морфология поверхности растений. М.: Агропромиздат, 1986. 160 с.

163. Дикун Е. Морковь замедленного действия // Неделя. 1989. 18—24 сент.

164. Димитров Б. Экологические и генетические последствия от применения пестицидов // Списание Българ. АН. 1988. Т. 34. № 5. С. 56—59.

165. Дмитриев П. П., Лобачев В. С. Как животные реагируют на пестициды // Химия и жизнь. 1978. № 9. С. 31—36.

166. Дмитриенко В. Д., Василос А. Ф., Шройт И. Г. и др. Гигиенические аспекты химизации сельскохозяйственного производства Молдавской ССР и состояние здоровья населения // Проблема гигиены труда и окружающей среды. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 8—23.

167. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 261 с.

168. Довбан К. И. Зеленое удобрение. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.

169. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. М.; Л.: Сельхозгиз, 1936. 117 с.

170. Долгова Л. Г., Грищан Н. П., Сапсай В. М. Влияние фторидов на урожай кукурузы // Хим. в сел. хоз. 1989. № 12. С. 23—25.

171. Долецкий С. П., Карим-Хошими С. Нарушение минерального обмена при нитратно-нитритной интоксикации у молочных коров // УСХА. Госагропром СССР. № 137. ВС-88. Деп.

172. Дубровская Н. А. Зависимость численности вредителей от режима питания растений // С.-х. биол. 1970. № 6. С. 931—932.

173. Дуда Г. Г., Демиденко А. Я., Мурза И. Ф. О возможности использования цеолитов для предупреждения вымывания удобрений из почвы // Агрохимия и почвоведение. Киев, 1986. № 49. С. 33—35.

174. Дурынина Е. П., Чичева Т. Б. Влияние известкования, минеральных удобрений и окультуренности почв на возбудителя корневой гнили зерновых культур // Агрохимия. 1980. № 8. С. 107—115.

175. Дурынина Е. П., Соколова Н. А. Плотность популяции эндомикоризных грибов в агроценозе на черноземе обыкновенном // Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвов. 1991. № 4. С. 56—61.

176. Дьяченко Л. С., Лысенко В. Ф. Синтез витамина В<sub>12</sub> в организме высокопродуктивных коров при разном содержании кобальта в рационе // С.-х. биол. 1987. № 6. С. 113—115.

177. Емнова Е. Е., Цуркан Л. Г., Гнидюк В. И., Меринюк Г. В. Мутагенный фон почв при длительном применении пестицидов и удобрений // Изв. АН МССР. Сер. биол. и хим. наук. 1989. № 6. С. 36—40.

178. Емцев В. Т., Ницэ Л. К., Покровский Н. П. Несимбиотическая азотфиксация и закономерности ее функционирования в почве // Мине Горюнова С. В., Демина Н. С. Водоросли — продуценты токсических веществ. М.: Нау-

ка, 1974. 256 с.

179. *Емцев Т.В.* Ассоциативный симбиоз почвенных диазотрофных бактерий и овощных культур // Почвоведение. 1994. № 4. С. 74—84.

180. *Еремина О.Ю., Бутковский Р.О.* Биохимические аспекты влияния тяжелых металлов на беспозвоночных животных // Агрохимия. 1997. №6. С. 80—91.

181. *Ефремов Е.Н.* О ценах на минеральные удобрения // Химиз. сел. хоз. 1989. №7. С. 10—13.

182. *Жарова Б. Д., Князев В. А.* Пути повышения пищевых качеств картофеля. М., 1982. 59 с.

183. *Жуков А. И., Попов П. Д.* Регулирование баланса гумуса в почве. М.: Росагропромиздат, 1988. 40 с.

184. *Жукова Л. М., Благовещенская З.К.* Изменение агрохимических свойств почв при длительном применении удобрений // Сел. хоз. за рубежом. 1981. № 9. С. 8—15.

185. *Журавлева И. П., Андреева Е. П., Буробина Г. С.* Токсикологическая группа в Ленинградской областной агрохимической лаборатории // Хим. в сел. хоз. 1980. № 10. С. 9—11.

186. *Жученко А.А., Урсул А. Д.* Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства. Кишинев: Штиинца, 1983. 304 с.

187. *Замараев А. Г., Чаповская Г. В.* Потери удобрений с водами избыточного увлажнения на суглинистой дерново-подзолистой почве // Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пушкино, 1982. С. 83—84.

188. *Захаренко В. А.* Экологическое обоснование уровня химизации земледелия // Хим. в сел. хоз. 1980. № 9. С. 58—60.

189. *Захаренко В.А.* Тенденции химизации земледелия в США // Хим. сел. хоз. 1989. № 1. С. 74—76.

190. *Защита зерновых культур от корневых гнилей (рекомендации).* М.: Агропромиздат, 1986. 37 с.

191. *Звягинцев Д. Г.* Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.

192. *Звягинцев Д.Г., Паников И.С., Горбенко А.Ю.* Количественная оценка влияния беспозвоночных на рост микроорганизмов в почве // IX Международный конгр. по почв. зоол. Вильнюс, 1985. С. 328.

193. *Звягинцев Д. Г.* Успехи и современные проблемы почвенной микробиологии // Почвоведение. 1987. № 10. С. 44—52.

194. *Зильберминц И. Ф., Фадеев Ю. Н.* Химическая борьба и преодоление резистентности вредных членистоногих к пестицидам // С.-х. биол. 1975. № 1. С. 3—8.

195. *Зильберминц И. В.* Генетические особенности формирования резистентных популяций тлей и тактика борьбы с ними // С.-х. биол. 1983. №2. С. 86—89.

196. Зинченко В. А., Таболина Ю. П., Игнатова Н. Г., Москаленко Г. П. Урожай, качество пшеницы и фракционный состав белков при ежегодных в течение пяти лет обработках гербицидами // Изв. ТСХА. 1979. №3. С. 78—86.
197. Зинченко В. А., Таболина Ю. П., Калитина Н. В. Об особенностях действия гербицидов при их систематическом многолетнем применении // Изв. ТСХА. 1976. № 5. С. 157—166.
198. Зинченко В.А., Таболина Ю.П., Игнатова Н.Г. и др. Особенности применения гербицидов на ряде поколений зерновых культур: Рекомендации ТСХА. М, 1988. 19 с.
199. Зиринс И. А. Об экологической ситуации в Латвийской ССР и мерах по ее улучшению // Проблемы охраны природы в агропромышленном комплексе республик Западного региона. Каунас: Академия, 1988. С. 5—6.
200. Зырин Н. Г., Каплунова Е. В., Сердюкова А. В. Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва—растение // Хим. в сел. хоз. 1985. № 6. С. 45—48.
201. Иванов А. Т., Петрова В. С, Кенигсберг Я. Э. Ветеринарная токсикология. Минск: Ураджай, 1988. 184 с.
202. Иванов В. П. Растительные выделения и их значение в жизни фито-ценозов. М.: Наука, 1973. 295 с.
203. Иванов В. П. Роль почвенных микроорганизмов во взаимном обмене высших растений корневыми выделениями // ДАН СССР. 1965. Вып. 165. № 4.
204. Иванов Ю. Д. Кормовые севообороты в Нечерноземной зоне РСФСР. М.: Россельхозиздат, 1987. 190 с.
205. Иванова Е. И., Мачулкина В. А., Баирамбеков Ш. Б. Качество белокочанной капусты, выращенной с применением гербицидов // Проблемы орошаемого овощеводства. М., 1987. С. 23—26.
206. Иванух Р.А., Пантелейчук М.М., Попович И.В. Справочник экономических показателей сельского хозяйства. Киев: Урожай, 1988. 216 с.
201. Ивашина С. И. Взаимодействие почвенной микрофлоры с пестицидами // Хим. в сел. хоз. 1986. № 8. С. 70—71.
208. Иващенко А. Земля // Чувство земли. М.: Мысль, 1988. С. 75—140.
209. Извеков А.С. Основы конструирования экологически устойчивых агроландшафтов // Земледелие. 1993. № 9. С. 18—20.
210. Илларионов А.И. Токсическое действие пестицидов на медоносную пчелу и факторы, его определяющие // Агрохимия. 1996. № 7. С. 94—118.
211. Ильин А.М. К вопросу о действии гербицида 2,4-Д на почвенные микроорганизмы // Микробиология. 1960. Т. 30, вып. 6. С. 1050—1051.
212. Ильин В. Б. Микроэлементы // Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука, 1989. С. 71—79.
213. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Защитные возможности системы почва—растение при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Тяжелые

металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 80—84.

214. *Ильин В.Б.* Кадмий в почве // Хим. в сел. хоз. 1991. С. 16—17.

215. *Ильницкий А. П.* Точка зрения гигиениста // Хим. в сел. хоз. 1989. № 1. С. 41—43.

216. *Ильницкий А. П., Власенко Н. Л., Юрченко В. А., Липчик А. Б.* Материалы к оценке возможного канцерогенного действия малых доз нитратов и нитритов в условиях хронического эксперимента на животных // Окружающая среда и здоровье населения. Таллинн, 1984. С. 83—84.

217. *Ильницкий А. П., Юрченко В. А., Жукова Г. Ф., Ермилов В. В.* О реальной канцерогенной опасности малых концентраций нитратов // Канцерогенные N-нитрозооооединения и их предшественники — образование и определение в окружающей среде. Таллинн, 1987. С. 232—234.

218. *Иноземцев А. А., Щербаков Ю. А.* Использование и охрана ландшафтов. М.: Росагропромиздат, 1988. 159 с.

219. *Исаев А.П.* Агротехническая и энергосберегающая роль зерновых бобовых культур в лесостепной зоне европейской части России: Ав-тореф. ... д-ра с.-х. наук. Немчиновка, 1994. 46 с.

220. *Итоги работы объединений "Сельхозхимия" за 1986 г.* // Хим. в сел. хоз. 1987. № 7. С. 76—78.

221. *Лишвин И. И., Парфенов В. И., Лучков А. И.* Экологические проблемы в Белоруссии и пути их научного решения // Вестн. АН СССР. 1988. № 11. С. 111—116.

222. *Кабилов Р. Р., Минибаев Р. Г.* Продуктивность водорослей в залежной и пахотной почве // Развитие и значение водорослей в почвах Нечерноземной зоны. Пермь, 1977. С. 6.

223. *Кабилов Р.Р.* Популяционный подход при изучении почвенных водорослей агрофитоценозов // Тез. Всесоюз. совещ. "Агрофито-ценозы и экологические пути повышения их стабильности и продуктивности". Ижевск, 1988. С. 60.

224. *Каджилюс Л. Ю.* Выращивание многолетних трав на корм. Л.: Колос, 1977. 247 с.

225. *Каджилюс Л., Жямайтис В., Далкус Р. и др.* Генеральное собрание Европейской федерации по луговодству // Кормопроизводство. 1987. № 2. С. 46—48.

226. *Казак В. Г., Онищенко Т. Л., Горбунов А. В.* Элементы примеси в фосфорных удобрениях // Хим. в сел. хоз. 1987. № 3. С. 61—62..

227. *Казыдуб Г.А., Ткаченко А.К., Гаврыш И.Л.* Энергетическая и биологическая оценка роли дождевых червей в антропоценозах поймы реки Южный Буг // Проблемы почвенной зоологии. Тбилиси, 1987. С. 121—122.

228. *Камшинов М. М.* Эволюция биосферы. М.: Наука, 1974. 254 с.

229. *Кант Г.* Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем. М: Агропромиздат, 1988. 207 с.

230. *Кареева Н. Ю.* Экспериментальное изучение влияния гербицидов

на видовой состав микрофлоры водоемов // Гиг. и сан. 1988. № 9. С. 70—71.

231. *Кареева Н. Ю.* Изучение влияния некоторых гербицидов на патогенную микрофлору в воде открытых водоемов // Гиг. и сан. 1988. № 8. С. 34—26.

232. *Карасевич Э. К., Исаева Л. И.* Влияние пирамидина на микрофлору дерново-подзолистой почвы // Хим. в сел. хоз. 1969. № 6. С. 92—53.

233. *Карпова Г. Я., Колтыпина С. Б., Якубович А. Д.* Влияние симазина на микрофлору почвы под розой эфиромасличной // Агрохимия. 1986. №3. С. 104—108.

234. *Картамышев Н.И., Герасимов М.Н.* Вновь о дифференциации кор-необитаемого слоя почвы // Земледелие. 1989. № 5. С. 33—35.

235. *Карягина Л. А.* Микробиологические основы повышения плодородия почв. Минск: Наука и техника, 1983. 181с.

236. *Карягина Л. А., Воробьева Е. М.* Влияние различных систем удобрений на микробиологический режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1980. № 1, С. 65—69.

237. *Кауп Ю. Ю.* Минеральные удобрения и окружающая среда // Химия в сел. хоз. 1986. № 12. С. 50—52.

238. *Каюмов М. К.* Программирование урожаев. М.: Моск. рабочий, 1981. 161с.

239. *Киперман Ю.А., Комаров М.А.* Агрохимические руды и минеральные удобрения на рубеже XXI века // Минеральные ресурсы России. 1998. № 4. С. 38—44.

240. *Кирдин В.Ф., Саранин Е.К.* Биологизация земледелия в России // Земледелие. 1996. № 6. С. 2—3.

241. *Кирюшин В.И., Южаков А.И., Ткаченко Г.И., Овсянников А.В.* II Плодородие почв и питание растений. Новосибирск, 1986. С. 4—25.

242. *Киселев И.И., Духанина И.А., Патыка В.Ф., Граб Т.А.* Взаимодействие почвенных микроорганизмов с растениями люпина // Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1978. С. 150—151.

243. *Кичеров В. П.* Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование энтомофауны в агроценозах зерновых культур // Формирование животного и микробного населения в агроценозах. М.: Наука, 1982. С. 120—211.

244. *Клаузевити В.* Человек — во главе мира // Очерки о природе и человеке. М.: Прогресс, 1988. С. 440—447.

245. *Климов СВ.* Взаимодействие стрессоров: усиление действия засухи на растения при наличии  $Al^{3+}$  в среде // Физиол. раст. 1985. Т. 32, вып.3. С. 532—538.

246. *Кнаиш В. Ю., Адомайtis Ю. А., Богдевич И. М. и др.* Оптимизация реакции почвенной среды // Оптимальные параметры плодородия почв. М.: Колос, 1984. 271 с.

247. Коваль Э. З. Энтомофильные грибы как компоненты биогеоценозов // Экология. 1984. № 1. С. 68—70.
248. Ковда В. А. Как помочь нашим черноземам // Наш современник. 1985. №7. С. 117—128.
249. Ковда В. А. Основные учения о почвах. М.: Наука, 1973. Т. 1. 447 с.
250. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 363 с.
251. Ковда В. А., Пачепский П. А. Почвенные ресурсы СССР их использование и восстановление. Пушкино, 1989. 35 с.
252. Кожевин П. А., Корчмару Р. С. На пути к теории применения микробных удобрений // Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвов. 1995. С. 52—61.
253. Козадаев А. А. Реакция почвенных микроартропод на внесение органических и минеральных веществ в почву агроценозов Нижнего Дона // IX Междунар. конгр. по почв. зоол. Вильнюс, 1985. С. 121.
254. Козловская Л. С. Особенности взаимоотношений почвенных беспозвоночных с микроорганизмами // Почвенные организмы как компонент биогеоценоза. М.: Наука, 1984. С. 53—65.
255. Козлюк А. С., Анисимова Л. А., Пивник Е. С., Вакуменко А. Л. Состояние иммунитета у лиц, имеющих профессиональный контакт с пестицидами // Проблемы гигиены труда и окружающей среды. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 23—30.
256. Козлюк А. С., Куинир Г. В., Анисимова Л. А., Шроут И. Г. Иммунный статус детей, проживающих в районе с повышенным содержанием нитратов в питьевой воде // Гиг. и сан. 1983. № 3. С. 19—22.
257. Колмакбаев Т. Ж. Поведение пестицидов различного фитосанитарного назначения в почве в условиях орошения // Агрохимия. 1992. №9. С. 117—121.
258. Комаровский Ф. Я., Маслова О. В., Пицалка Ю. К., Щербунина Н. А. Накопление и миграция стойких пестицидов в условиях замедленного стока (дельта реки — водохранилище) // Хим. в сел. хоз. 1981. №10. С. 45—47.
259. Кондратенко В. И., Воеводин А. В. О резистентности сорных растений // С.-х. биол. 1987. № 5. С. 116—120.
260. Коплан-Дикс И. С. Социально-экономическая оценка развития антропогенного эвтрофирования водных объектов // Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод. Л.: Наука, 1988. С. 157—162.
261. Коренчук А. П., Пироженко Г. С. Влияние ингибиторов нитрификации на эффективность действия азотных удобрений в условиях дерново-подзолистых почв Полесья УССР // Повышение эффективности использования удобрений и плодородия почв в УССР. Харьков, 1985. С. 78.
262. Кореньков Д. А. Азотные удобрения и пути их эффективного использования // Агрохимия. 1977. № 10. С. 138—163.
263. Коулман Д. К., Коул К. В., Эллиот Э. Г. Распад и круговорот орга-

нического вещества и динамика питательных веществ в агроэкосистемах // Сельскохозяйственные экосистемы. М.: Агропромиздат, 1987. С. 85—103.

264. *Кочетков А. А.* Современные проблемы производства минеральных удобрений // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Менделеева. 1983. Т. 32. № 4. С. 363—368.

265. *Крайдман Ж. Е.* Фтор в почвах Молдавии // Хим. в сел. хоз. 1988. № 10. С. 39—40.

266. *Красильников Д. Г.* Минеральные удобрения как потенциальный фактор загрязнения источников хозяйственно-питьевого водопользования // Окружающая среда и здоровье населения. Таллинн, 1984. С. 87—88.

267. *Красильников Н. А.* Микроорганизмы и плодородие почв // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1964. № 2. С. 14—39.

268. *Красильников Н. А.* О некоторых современных проблемах сельскохозяйственной микробиологии // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 5—30.

269. *Красновский А. А.* Преобразование солнечной энергии при фотосинтезе: проблемы и перспективы // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Менделеева. 1986. Т. 31. № 6. С. 482—488.

270. *Криволицкий Д. А.* Животный мир почвы. М.: Знание, 1969. 48 с.

271. *Кроссли Д. А.-мл., Хауз Дж., Рената М. и др.* Положительные взаимодействия в агроэкосистемах // Сельскохозяйственные экосистемы. М.: Агропромиздат, 1987. С. 75—84.

272. *Круглое Т. Л.* Специализация севооборотов в Нечерноземной зоне Урала // Агрономические основы специализации севооборотов. М.: Агропромиздат, 1987. С. 1162—1166.

273. *Круглое Ю. В.* Микробиологические факторы детоксикации пестицидов // С.-х. биол. 1979. № 6. С. 710—715.

274. *Круглое Ю. В.* Микрофлора почвы и пестициды. М.: Агропромиздат, 1991. 129 с.

275. *Круглое Ю. В., Михайлова Е. И.* Изменение альгофлоры дерново-подзолистых почв под влиянием систематического применения гербицидов // Развитие и значение водорослей в почвах Нечерноземной зоны. Пермь, 1977. С. 74—75.

276. *Круглое Ю. В., Перцева А. К., Галкина Г. А.* Изменение биологической активности почвы под влиянием многолетней систематической обработки гербицидами // Докл. ВАСХНИЛ. 1975. № 12. С. 20—21.

277. *Крюкова Е. А., Персидская Л. Т.* Формирование энтомофауны патогенной микрофлоры в лесоаграрном ландшафте: пути повышения устойчивости агрофитоценозов // Вестн. с.-х. науки. 1986. № 4. С. 61—66.

278. *Кудеяров В. Н.* Баланс азота в почве при интенсивном применении азотных удобрений // Хим. в сел. хоз. 1980. № 10. С. 23—36.

219. *Кудеяров В. Н.* Иммобилизационно-минерализационные процессы превращения азотных удобрений в почвах // Вестн. с.-х. науки. 1987. № 6. С.



31—38.

280. Кудеяров В. Н., Башкин В. Н., Кудеярова А. Ю. Экологические последствия применения минеральных удобрений // Химия в сел. хоз. 1981. № Ю. С. 52—57.

281. Кудеяров В. Н., Башкин В. К., Кудеярова А. Ю., Бочкарев А. Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений. М.: Наука, 1984. 213 с.

282. Кудеяров В. К., Биелек П., Соколов О. А. Баланс азота и трансформация азотных удобрений в почвах. Пушино, 1986. 160 с.

283. Кудеяров В. Н., Благодатский С. А., Ларионова А. А. Изменение внутрипочвенных потоков азота при внесении азотных удобрений // Агрохимия. 1990. № 11. С. 47—53.

284. Кудеяров В. Н., Башкин В. Н. К вопросу о загрязнении природных вод // Агрохимия. 1978. № 3. С. 19—27.

285. Кудзин Ю. К., Гниненко Н. В. Изменение водно-физических свойств слабовыщелоченного чернозема под влиянием многолетнего применения удобрений в севообороте // Почвоведение. 1969. № 7. С. 66—67.

286. Кузнецова Г. С. Эффективность сидеральных культур в севообороте в условиях Среднего Зауралья // Питание растений и программирование урожая сельскохозяйственных культур. Пермь, 1980. С. 69—75.

287. Кузьма Р. Я., Гиргина С. В., Войтилович А. К., Гинюнас К. О влиянии химических средств защиты растений, минеральных удобрений на содержание микроэлементов и условно-патогенных микрогрибов в охотничьей фауне Литовской ССР // Окружающая среда и здоровье населения. Таллинн, 1984. С. 89—90.

288. Кузьмина Т. И., Реут Г. М., Гапонюк Э. И., Моришина Г. Н. Влияние техногенных выбросов фосфорного производства на состав и свойства почвы // Тр. Ин-та эксперим. метеорол. Вып. 16 (ГЭЗ). М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 95—102.

289. Кулаковская Т. Н., Богдановская М. А. Влияние минеральных удобрений на качество зерна озимой ржи // Докл. ВАСХНИЛ. 1978. № 3. С. 3—6.

290. Кулаковская Т. К., Детковская Л. П. Баланс кальция и магния в пахотных землях Белоруссии // Хим. в сел. хоз. 1972. № 12. С. 16—20.

291. Кулаковская Т. К., Кнаиш В. Ю., Богдеев И. М. Оптимальные параметры плодородия почв. М.: Колос, 1984. 271 с.

292. Кулебякин Ю. И. Состав молока и качество молочных продуктов при пастбищном содержании коров // Культурные пастбища в молочном скотоводстве. М.: Колос, 1974. С. 208—271.

293. Культурные пастбища на орошаемых землях / Под ред. Н. Г. Андреева. М.: Колос, 1979. 351 с.

294. Кураков А. В. Некоторые аспекты экологии везикулярно-арбускулярной микоризы // С.-х. биол. 1985. № 10. С. 101—111.

295. *Курамбаев Я.К., Хусинов А.А., Сафонов В.А.* Особенности возникновения и течения патологических процессов при воздействии на организм пестицидов // Гиг. и сан. 1993. № 2. С. 51—53.
296. *Курдюков В. В.* Последствие пестицидов на растительные и животные организмы. М.: Колос, 1982. 128 с.
297. *Курчева Г. Ф.* Роль животных в почвообразовании. М.: Знание, 1973. 64 с.
298. *Кишнякин В.А., Содохин Ю.Л.* Смешанные посевы кукурузы в Сибири // Земледелие. 1997. № 3. С. 14—16.
299. *Ладонин В. Ф., Лунев М. И.* Остатки пестицидов в объектах агрофи-тоценозов и их влияние на культурные растения. М., 1985. 61 с.
300. *Лазарева Н. В., Блохин В. Г.* Влияние прометрина, фалона и алипура на микрофлору почвы // Хим. в сел. хоз. 1969. № 8. С. 49—51.
301. *Лана В.В.* Влияние удобрений на качество сельскохозяйственной продукции // Химизация земледелия. 1992. № 1. С. 68—69.
302. *Лантев И. Д.* Экологические проблемы. М.: Мысль, 1982. 247 с.
303. *Лаугасте Р. А., Порк М. И.* Измерение видового состава фитопланктона и первичной продукции // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 46—54.
304. *Лебедев В. М.* Возможные экологические последствия избыточного применения азотных удобрений // Минеральный и биологический азот в СССР. М.: Наука, 1985. С. 41—60.
305. *Лебедева Л. А., Гомонова Н. В.* Влияние минеральных удобрений и извести при длительном применении на свойства дерново-подзолистой почвы и урожай растений // Хим. в сел. хоз. 1972. № 9. С. 2—8.
306. *Лейтватегия Л.* О влиянии пестицидов на вредителей растений и их естественных врагов // Проблемы современной экологии. Тарту, 1982. С. 188.
307. *Лестер Р. Браун, Сандра Поустел.* Пороги изменений // Мир восьмидесятых годов. М.: Прогресс, 1989. С. 32—50.
308. *Лестер Р. Браун, Христофор Флейвин, Сандра Поустел.* Мир под угрозой // Мир восьмидесятых годов. М.: Прогресс, 1989. С. 382—399.
309. *Лешков А.П., Назарюк В.М., Ткаченко Г.И. и др.* Нитраты и качество продуктов растениеводства, Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.
310. *Лисовал А.П., Олейник Е.М., Крищенко В.П.* Влияние удобрений на азотный обмен, урожайность и качество зерна озимой пшеницы на лугово-черноземных карбонатных почвах северной лесостепи УССР // Агрохимия. 1984. № 6. С. 39—46.
311. *Лисовой Н. В.* Потери азота с фильтрующими атмосферными водами на черноземах обыкновенных северной части степи УССР // Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пушкино, 1982. С. 88.
312. *Литвак Ш. И.* В условиях научно-технического прогресса // Хим.

в сел. хоз. 1987. № 2. С. 2—4.

313. *Лобанов В. Е., Поддубная Л. П.* Действие гербицидов на микрофлору и пищевой режим почвы в посевах сахарной свеклы // Хим. в сел. хоз. 1987. № 10. С. 38—34.

314. *Лобанок М. П.* Влияние азота и микроэлементов на содержание витамина С и рутина в зерне гречихи // Агрохимия. 1992. № 3. С. 53—57.

315. *Лобков В. Т.* Биологизация земледелия и почвозащитный комплекс // Земледелие. 1997. № 1. С. 8—9.

316. *Лошаков В.Т.* Промежуточные культуры — фактор экологически чистого земледелия // Аграрная наука. 1994. № 6. С. 24—25.

317. *Луйк А.* Влияние минеральных удобрений на численность популяций насекомых // Проблемы современной экологии. Тарту, 1982. С. 87.

318. *Лукин С. А., Кожевин П. А., Звягинцев Д. Г.* Азоспириллы и ассоциативная азотфиксация у небобовых культур в практике сельского хозяйства // С.-х. биол. 1987. № 1. С. 91—58.

319. *Лукиных М.И.* Обработка почвы в лесостепи Урала. Екатеринбург, 1996. 229 с.

320. *Лыков А.М., Сафонов А.Ф., Башир Ахмет Али, Кручина СИ.* Биологические показатели плодородия дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений в севообороте и бессменном возделывании культур // Изв. ТСХА. 1991. № 1. С. 57—64.

321. *Лях Т. Г., Стрильцова Г. П.* Оценка содержания тяжелых металлов в карбонатном черноземе // Хим. в сел. хоз. 1985. № 6. С. 51—52.

322. *Мавлянова М.И.* Роль почвенных простейших в снижении заболеваемости хлопчатника гоммозом // Проблемы почвенной зоологии. Тбилиси, 1987. С. 174—175.

323. *Мавлянова М.И.* Влияние антропогенных факторов на простейших в почвах Узбекистана // IX Междунар. конгр. по почв. зоол. Вильнюс, 1985. С. 177.

324. *Мажарова И. В.* Отдельные последствия действия пестицидов и комплексный подход к их изучению в природной среде // Влияние факторов интенсивного сельскохозяйственного производства на окружающую природную среду. М, 1987. С. 17—24.

325. *Мазаева М. М., Неугодова О. В., Лапина Л. В.* Содержание магния в травостоях при удобрении сенокосов и пастбищ // Хим. в сел. хоз. 1978. №4. С. 13—16.

326. *Макаров Б. Н.* Газовый режим почвы. М.: Агропромиздат, 1988. 104 с.

327. *Макаров Б. Н.* Газообразные потери азота // Агрохимия. 1969. № 12. С. 3—9.

328. *Макаров Б. Н., Геращенко Л. Б.* Влияние газообразных потерь азота почвы и удобрений на размер загрязнения атмосферы газообразными соединениями азота // Экологические последствия применения агрохимикатов

(удобрения). Пушино, 1982. С. 58—59.

329. *Макунина С.Г.* Потери в содержании и запасах гумуса при земледельческом освоении черноземов и каштановых почв // Географ, и природные ресурсы. 1989. № 2. С. 52—58.

330. *Мальцев В.Ф., Кувшинов Н.М.* Применение средств химизации снижает численность дождевых червей // Земледелие. 1997. № 3. С. 13.

331. *Мандева Р.Д., Ермаков И.Т., Лозинова А.Б.* Экскреция метаболитов дрожжами рода *Candida* при дефиците источников N, P, S или Mg в средах с различными источниками углерода // Микробиология. 1981. Т. 50, вып. 1. С. 62—68.

332. *Медведев В. В.* Изменение микростроения и водно-физических свойств черноземов при внесении минеральных удобрений // Микроморфология антропогенно измененных почв. М.: Наука, 1988. С. 55—63.

333. *Медведь Л. И., Ткач Л. И., Бойда Л. К.* Методические принципы к изучению влияния интенсивного применения пестицидов на здоровье детей, проживающих в сельской местности // Гиг. и сан. 1981. №2. С. 12—114.

334. *Мелиян И.В., Барбуца Д.Н.* Влияние азотных, фосфорных и калийных удобрений на *Daphnia Straus* // Фауна, экология и физиология животных. Кишинев: Штиинца, 1980. С. 70—76.

335. *Мельников Н. Н.* Пестициды и окружающая среда // Агрохимия. 1990. № 12. С. 171—194.

336. *Милащенко Н. 3., Захаров В. Н.* Производство экологически чистых и биологически полноценных продуктов питания // Хим. сел. хоз. 1991. № 1. С. 3—12.

337. *Миллер В. Р., Беккер З. Э.* Роль микроэлементов в устойчивости хлопчатника к вертициллезному вилту // С.-х. биол. 1983. № 11. "С. 54—56.

338. *Мильто Н. И., Карбанович А. И., Ворочаева В. Т., Стефанович Л. И.* Роль микрофлоры в защите почвы от агропроизводственных загрязнений. Минск: Наука и техника, 1984. 133 с.

339. *Минеев В. Г.* Агрохимия и биосфера. М.: Колос, 1984. 245 с.

340. *Минеев В. Г.* Воспроизводство почвенного плодородия агрохимическими средствами и охрана почв от техногенного загрязнения // Вестн. с.-х. науки. 1988. № 6. С. 95—101.

341. *Минеев В. Г.* Химизация земледелия и природная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

342. *Минеев В. Г.* Экологические проблемы агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1987. 185 с.

343. *Минеев В. Г., Алексеев А. А., Монзерова Е. М.* Поступление тяжелых металлов в почвы при внесении высоких доз минеральных удобрений // Докл. ВАСХНИЛ. 1981. № 8. С. 8—10.

344. *Минеев В. Г., Грачева Н. К., Тришина Т. А.* Токсикологические аспекты качества растениеводческой продукции // Агрохимия. 1986. №8. С. 119—129.

345. *Минеев В. Г., Шконде Э. И., Благовещенская З. К.* Перспективы применения удобрений. М., 1982. 60 с.
346. *Минеев В.Т.* Агрохимия в агроэкосистеме // Хим. в сел. хоз. 1991. № 3. С. 3—10.
347. *Минеев В.Г., Ремпе Е.Х.* Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
348. *Минеев В.Т., Ремпе Е.Х., Воронина Л.П., Коваленко Л.В.* Определение суммарной токсичности почвы корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений: методика и результаты // Вестн. с.-х. науки. 1991. № 6. С. 63—71.
349. *Минеральные удобрения* // Сельскохозяйственный энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1980. С. 314.
350. *Минин А.А.* Кому жить на "преображенной" земле? // Энергия: экономика, техника, экология. 1990. № 8. С. 18—20.
351. *Мирзоян С.А., Мамаев Б.М.* Насекомые и биосфера. М: Агропромиздат, 1989. 208 с.
352. *Миркин Б.М., Злобин Ю.А.* Растительные сообщества наших полей. М: Знание, 1990. 64 с.
353. *Миронова Г. В.* Влияние колков на продуктивность угодий // Кормовые культуры. 1988. № 5. С. 43—46.
354. *Мирчинк Т. Г.* Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1986. 220 с.
355. *Мирчинк Т. Г.* Токсины почвенных и фитопатогенных грибов // С.-х. биол. 1970. № 5. С. 694—702.
356. *Митчел Р.* Экологические основы сравнительного изучения первичной продукции // Сельскохозяйственные экосистемы. М.: Агропромиздат, 1987. С. 119—55.
357. *Митченков В. Т., Мянник Л. Э., Оганян И. В., Ней Ю. К.* Влияние нитратов пищевого рациона на уровень инактивных форм гемоглобина в крови людей // Окружающая среда и здоровье населения. Таллинн, 1984. С. 96—97.
358. *Михайленко Л. Е., Куликова И. Я.* К вопросу о взаимоотношениях бактерий и сине-зеленых водорослей // Гидробиол. журнал. 1973. № 2. С. 52—59.
359. *Мишустин Е. М.* Ассоциации почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 105 с.
360. *Мишустин Е. М., Емцев В. Т.* Микробиология. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с.
361. *Мишустин Е.* Микробиологические основы использования соломы как удобрения // Земледелие. 1969. № 10. С. 40—42.
362. *Мишустин Е. Н., Лебедев Е. К., Черников Н. И.* Возможные экологические последствия нерационального применения азотных минеральных удобрений // Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пушкино, 1982. С. 4—6.

363. *Мишустин Е. Н., Чередков Н. И.* Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов в азотном балансе земледелия // *Круговорот и баланс азота в системе почва—удобрение—растение—вода*. М.: Наука, 1979. С. 9—18.

364. *Можсаев Е. А., Литвинов А. Н.* Биомониторинг металлов // *Гиг. и сан.* 1988. №7. С. 53—56.

365. *Мозжерин Н. М., Клевенская И. Л.* Искусственная стимуляция азотфиксации органическими удобрениями // *Вопросы метаболизма почвенных микроорганизмов*. Новосибирск: Наука, 1981. С. 89—101.

366. *Молчаи А. П., Ладенов К. П., Андреев Л. С.* Влияние гербицидов на микрофлору почв // *Хим. в сел. хоз.* 1976. № 4. С. 47—48.

367. *Молчанов А.А.* Гидрологическая роль леса в различных природных зонах СССР // *Гидрологические исследования в лесу*. М., 1970. С. 5—78.

368. *Монастырский О.А.* Скрытая токсичность продуктов питания и кормов // *Агрохимия*. 1997. № 7. С. 100—106.

369. *Моргун Л. В.* Биохимические показатели почв как индикаторы загрязненности их пестицидами. М., 1990. 48 с.

370. *Муромцев Г. С., Черняев Г. И.* Использование микробиологических факторов для защиты растений от корневых инфекций // *Вестн. с.-х. науки*. 1988. № 7. С. 291—35.

371. *Муромцев Г. С., Маришунова Г. Н.* Эндомикориза бобовых культур // *Биологический азот в сельском хозяйстве СССР*. М.: Наука, 1989. С. 81—87.

372. *Мурох В. И.* Проблема нитратов в пищевых продуктах и некоторые пути ее решения // *Здравоохранение Белоруссии*. 1989. № 1. С. 47—50.

373. *Мухин Ю. П.* Экология лесоаграрного ландшафта // *Тр. ВНИИА*. Волгоград, 1986. Вып. 2 (88). С. 63—73.

374. *Мухина Н. Г.* Не допускать появления устойчивых популяций тлей // *Защ. раст.* 1982. № 11. С. 37.

375. *Мяэметс А. Х.* Изменения зоопланктона // *Антропогенное воздействие на малые озера*. Л.: Наука, 1980. С. 54—64.

376. *Мяэметс А., Тийдор Р., Локк С. и др.* Состояние экосистемы Чудско-Псковского озера // *Проблемы современной экологии*. Тарту, 1982. С. 95—97.

377. *Надкерничный С.П., Цыганова Н.М.* Изменение численности фитотоксичных грибов в почве в зависимости от условий выращивания озимой пшеницы // *Микробиологические процессы в почвах и урожай сельскохозяйственных культур*. Вильнюс, 1978. С. 242—243.

378. *Назаров В. Г.* Антропогенная перестройка выноса фосфора в водные объекты в процессе развития земледелия // *Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод*. Л.: Наука, 1988. С. 44—66.

379. *Назарова Т.А., Макеев А.М., Чкаников Д.И.* Остатки хлорсульфуро-на в зерне и соломе пшеницы и ячменя // *Агрохимия*. 1991. № 7. С. 86—

89.

380. *Назарюк В. М.* Качество овощей в связи с применением высоких доз азотных удобрений // Вестн. с.-х. науки. 1988. № 11. С. 61—68.

381. *Наймитейн С. Я.* Миграция химических соединений в окружающей среде как основа нормирования их содержания в почве // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидро-метеоиздат, 1980. С. 29—36.

382. *Нетис И.Т.* Влияние азотфиксирующей бактерии *Flavobacterium L.* на урожай и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 1989. №3. С. 56—60.

383. *Никитишён В. И., Никитишена И. А., Пестух Т. И., Шабанова Н. И.* Баланс азота при интенсивном применении удобрений // Агрохимия. 1977. № 3. С. 3—8.

384. *Никольская М. Н.* Рациональная и нерациональная химизация сельского хозяйства // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 51—54.

385. *Николюк В. Ф.* Роль простейших в почвенных процессах // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 54—63.

386. *Никонов А.* В союзе науки и практики // Коммунист. 1986. № 9. С. 32—43.

387. *Никонов А.А.* Концепция развития агропромышленного комплекса СССР на ближайшие годы и перспективу // Вестн. с.-х. науки. 1990. № 8. С. 3—19.

388. *Никонов В. П.* Итоги первого года работы и задачи по дальнейшему совершенствованию единой специализированной агрохимической службы страны // Хим. в сел. хоз. 1981. № 2. С. 3—10.

389. *Новиков А. А., Чуб И. Ф.* Проблемы развития отрасли фосфорсодержащих минеральных удобрений и кормовых фосфатов в XII пятилетке и на период до 2000 года // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Менделеева. 1987. Т. 32, № 4. С. 375—882.

390. *Новиков М.Н.* Сидераты в СССР: сегодня и завтра // Земледелие. 1991. № 1. С. 63—64.

391. *Новиков Ю. В., Окладников Н. И., Сатдиутдинов М. М., Андреев И. А.* Влияние нитратов и нитритов на состояние здоровья населения // Гиг. и сан. 1985. № 8. С. 58—62.

392. *Новожилов К.В., Петрова Т.М.* Деградация пестицидов при их применении в интенсивном земледелии // Агрохимия. 1991. № 3. С. 100—106.

393. *Носко Б. С., Христенко А. А.* Эволюция показателей почвенного плодородия и их оптимальные параметры в условиях интенсификации земледелия на Украине // Параметры плодородия основных типов почв. М.: Агропромиздат, 1980. С. 237—253.

394. *Обзор* загрязнений окружающей природной среды в РФ за 1997

год // Зеленый мир. 1998. № 20 (284).

395. *Овсянников Ю. А.* О густоте посева кормовых корнеплодов // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1989. № 2. С. 108—112.

396. *Овсянников Ю. А.* Совершенствование технологии возделывания кормовых корнеплодов при орошении на Среднем Урале: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. Пермь, 1985. 19 с.

397. *Овсянников Ю.А.* Предпочтительный, но полузабытый прием // Экон. сел. хоз. Рос. 1994. № 6. С. 22.

398. *Овсянников Ю.А.* Проблемы научно-технического прогресса в земледелии // Земледелие. 1992. № 9—10. С. 5—7.

399. *Овсянников Ю.А.* Пути повышения плодородия почв при переходе на эколого-биосферные системы земледелия // Вестн. Рос. ак. с.-х. наук. 1996. №5. С. 35—37.

400. *Овсянников Ю.А.* Стимулирование перехода к эколого-биосферным системам земледелия // Экон. сел. хоз. Рос. 1998. № 8. С. 22.

401. *Овсянников Ю.А.* Экологические аспекты продовольственной безопасности // Экологические аспекты продовольственной безопасности, контроль за качеством пищевых продуктов. Екатеринбург: Изд. УрСХА. 1998. С. 16—17.

402. *Овсянников Ю.А.* Влияние некорневой подкормки на урожайность кормовой свеклы // Мат-лы конф. "Актуальные проблемы интенсификации земледелия и животноводства в современных условиях". Свердловск, 1990. 4.11. С. 10—12.

403. *Овсянников Ю.А.* О перерастании экологических проблем сельскохозяйственного производства в экономические // Социально-экономические проблемы аграрной реформы. Екатеринбург, 1994. С. 62—63.

404. *Овсянников Ю.А.* О путях развития земледелия // Вестн. Рос. ак. с.-х. наук. 1992. № 2. С. 35—37.

405. *Овсянников Ю.А.* Растениеводство: проблемы и перспективы // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1990. № 1. С. 65—73.

406. *Овсянников Ю.А.* Роль кормовых культур в эколого-биосферных системах земледелия // Кормопроизводство. 1998. № 8. С. 12—14.

407. *Овсянников Ю.А.* Экологическое земледелие: необходимость и особенности. Екатеринбург: Диамант, 1992. 146 с.

408. *Овсянников Ю.А.* Земледелие на пороге XXI века // Энергия: экономика, техника, экология. 1999. № 2. С. 47—52.

409. *Одинцов В. С.* Проблемы почвенной зоологии // Вестн. с.-х. науки. 1985. №4. С. 50—515.

410. *Одум Ю. П.* Свойства агроэкосистем // Сельскохозяйственные экосистемы. М.: Агропромиздат, 1987. С. 12—18.

411. *Опасности нет* // Уральский рабочий. 1988. 27 авг. (№ 197).

412. *Опполь Н. И., Добрянская Е. В.* Нитраты (гигиенические аспекты проблемы). Кишинев: Штиинца, -1986. 115 с.



413. Орлов В.М., Чернохлебова Г.А., Мирющенко М'Н. Использование биологического азота при возделывании озимой пшеницы // Вестн. с.-х. науки. 1989. № 7. С. 77—80.
414. Оськина В. Н., Санин В. А., Горбач Т. И. Циркуляция фурадана в окружающей среде // Хим. в сел. хоз. 1982. Т. 20. № 12. С. 43—45.
415. Отчет санитарно-эпидемиологической службы Свердловской области за 1991 год. Форма № 18.
416. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в СССР // Стат. сб. М.: Финансы и статистика, 1989. 174 с.
417. Охрана окружающей среды при использовании пестицидов. Киев: Урожай, 1983. 128 с.
418. Охрана природы: Справочник / Под ред. К. П. Митрюшкина. М.: Агропромиздат, 1987. 269 с.
419. Павлицук С.А., Быта В.А., Веселова М.В. Пестициды и здоровье. Краснодар, 1989. С. 30—33.
420. Павловский Е. С. Защитные лесные насаждения и интенсификация сельскохозяйственного производства // Вестн. с.-х. науки. 1981. № 2. С. 107—116.
421. Павловский Е. С. Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации. М: Агропромиздат, 1988. 182 с.
422. Панкратова Е. М. Роль азотфиксирующих сине-зеленых водорослей (цианобактерий) в накоплении азота и повышении плодородия почвы: Автореф. дис... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1981. 40 с.
423. Панкратова Е.М. Участие сине-зеленых водорослей в азотном балансе почв // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. М.: Наука, 1985. С. 221—228.
424. Панкратова Е.М., Домрачева Л.И., Маркова Г.И. и др. Биологическая оценка состояния почвы при разных дозах удобрений // Эффективность удобрений и окультуривание почв северо-востока Нечерноземной зоны РСФСР. Киров, 1984. С. 111—113.
425. Панов Н. П. Повышение плодородия почв — важнейшие условия получения высоких и устойчивых урожаев // Вестн. с.-х. науки. 1983. № 10. С. 68—75.
426. Пароменская Л. К, Кожемяков А. П., Чеботарь Н. К, Лисовский А. А. Эффективность симбиотической азотфиксации сои в условиях применения гербицидов // С.-х. биология. 1987. № 12. С. 40—42.
427. Пасынков А.В., Ладонин В.Ф. Эффективность средств химизации и энергетическая оценка их применения при возделывания озимой ржи // Агрохимия. 1996. № 6. С. 63—70.
428. Персиц С. А., Шатино И. Д., Юревич К. А. Вредоносность большой злаковой тли при высоких дозах минеральных удобрений пшеницы // С.-х. биол. 1975. № 5. С. 782—784.
429. Пестициды. Экология // Защ. раст. 1989. № 5. С. 54—57.

430. *Петербургский А. В.* О мировом производстве минеральных удобрений и применении их в зарубежных странах // *Агрохимия*. 1964. № 2. С. 124—Г29.
431. *Петров А. А.* Изменение свойств серых лесных почв под влиянием удобрений // *Хим. в сел. хоз.* 1976. № 4. С. 57—60.
432. *Петрова А. Г.* Взаимодействие кукурузы и бобовых растений в агрофитоценозах // *Агрофитоценозы и экологические пути повышения их стабильности и продуктивности*. Ижевск, 1988. С. 45—46.
433. *Плотникова Т. С., Крюкова Е. А.* Болезни птиц в лесоаграрном ландшафте // *Формирование животного и микробного населения в агроценозах*. М.: Наука, 1982. С. 113—115.
434. *Подгородников М.* Под угрозой — дети // *Лит. газета*. 1989. 23 авг. (№34).
435. *Подлужский Т. Л.* Влияние сроков химической борьбы с вредной черепашкой, применения гербицидов и внескорневой подкормки посевов на ее паразитов // *Тр. Краснодар. НИИСХ*. Краснодар, 1974. Вып. 7. С. 140—143.
436. *Покровская С. Ф.* Пути снижения содержания нитратов в овощах. М., 1988. 61 с.
437. *Покровская С. Ф.* Нитратное загрязнение при внесении азотных удобрений и меры борьбы с ними // *Вестн. с.-х. науки*. 1987. № 8. С. 132—136.
438. *Покровская С. Ф.* Переработка органических отходов с использованием дождевых червей // *Сел. хоз. за руб.* 1984. № 5. С. 10—14.
439. *Полынов Б. Б.* Руководящие идеи современного учения об образовании и развитии почв // *Почвоведение*. 1948. № 1. С. 611—612.
440. *Поляков А. Н., Шевцова Л. К.* Изменение свойств дерново-подзолистых и черноземных почв под влиянием длительного применения удобрений // *Микроморфология антропогенно измененных почв*. М.: Наука, 1988. С. 74—80.
441. *Попкова К. В., Шнейдер Ю. И.* Обоснование принципов защиты сельскохозяйственных культур от бактериозов в условиях интенсификации // *Изв. ТСХА*. 1984. Вып 2. С. 118—123.
442. *Попова А. А.* Влияние минеральных и органических удобрений на состоянии тяжелых металлов в почвах // *Агрохимия*. 1991. № 3. С. 62—67.
443. *Попова В. Г.* К оценке опасности гербицида ялана для водных экосистем // *Влияние пестицидов на диких животных наземных и водных экосистем*. М., 1977. С. 122—134.
444. *Попова Г. В.* Задачи охраны природы в связи с использованием пестицидов в сельском хозяйстве // *Экологические последствия интенсификации сельского хозяйства*. М., 1985. С. 3—9.
445. *Попова Л. А.* Альтернативное сельское хозяйство в капиталистических странах // *Экология и сельское хозяйство: Мат.-лы к 1 Всесоюз. конф.* М., 1989. С. 86—96.

446. Порошенко Г. Г., Горькова С. Н. Экогенетические аспекты мутагенеза // Природа. 1989. № 3. С. 3—12.
447. Посмитная Л.В., Ладонин В.Ф. Экологические проблемы интенсивного применения азотных удобрений // Агрохимия. 1989. № 11. С. 122—132.
448. Посмитная Л.В. Экологическая оценка применения пестицидов // Химизация сел. хоз. 1990. № 6. С. 34—38.
449. Постников А.В., Чумаченко КН., Кривопуст Н.Л. Влияние различных форм фосфорных удобрений на плодородие и накопление ТМ в почвах и растениях // ТМ и радионуклиды в агроэкосистемах. М., 1994. С. 54—65.
450. Потатуева Ю.А., Касицкий Ю.Н., Хлыстовский А.Д., Прицеп Ю.Г., Сидоренкова Н.К. Длительное применение удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве // Химия в сел. хоз. 1996. №6. С. 39—41.
451. Поустел С, Хайз Л. Восстановление лесного покрова // Мир восьмидесятых годов. М.: Прогресс, 1989. С. 259—876.
452. Прижуков Ф. Б. Агрономические аспекты альтернативного земледелия. М., 1989.50 с.
453. Припутина КВ., Орлинский Д.Б., Башкин В.Н. Эколого-биогеохимическое районирование Московской области // Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: ВО "Наука", 1993. С. 24—36.
454. Природоохранная программа для сельского хозяйства Финляндии // Экон. сел. хоз. Рос. 1997. № 6. С. 29.
455. Приходько Н. К, Пастернак П. С. Оптимизация агроландшафтов // Вестн. с.-х. науки. 1987. № 12. С. 128—134.
456. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1990. Вып. 11—12.189 с.
457. Проект концепции программы биосферных и экологических исследований АН СССР на период до 2015 г. // Вестн. АН СССР. 1988. № 11. С. 5—16.
458. Прокошев В. И. Азот в земледелии Нечерноземной зоны // Агрохимия. 1975. № И. С. 3—15.
459. Прянишников Д.Н. Об удобрении полей и севооборотов. М., 1962. 254 с.
460. Пупонин А.И., Матюк Н.С. Агротехнические приемы уменьшения переуплотнения почв // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 11—19.
461. Пушкар И. Г., Усачева И. С. Влияние гербицида прометрина на *Daphnia magna* при хронической интоксикации // Влияние пестицидов на диких животных наземных и водных экосистем. М., 1977. С. 143—154.
462. Работнов Т. А. Луговедение, М.: Изд-во МГУ, 1984. 320 с.
463. Развивающиеся страны: Природа и человек. М.: Мысль, 1981. 239

с.

464. *Ракитин Ю. В., Соколов А. В.* Развитие агрохимических исследований в СССР // *Агрохимия*. 1977. № 10. С. 3—8.

465. *Рамад Ф.* Основы прикладной экологии. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 543 с.

466. *Ратнер Е. И., Доброхотова И. Н.* О возможной роли витаминов, продуцируемых почвенными микроорганизмами, в корневом питании растений // *Физиол. раст.* 1956. Т. 3, вып. 2. С. 101—109.

467. *Рахматуллаев А.Р.* Пестицидная буря над Узбекистаном // *Природа*. 1993. №9. С. 84—88.

468. *Редькина Т. В.* Механизм положительного влияния бактерий рода *Azospirillum* на высшие растения // *Биологический азот в сельском хозяйстве СССР*. М.: Наука, 1989. С. 132—141.

469. *Редькина Т.В., Калининская Т.А.* Азотфиксирующие микроорганизмы в ризосфере риса // *Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур*. Вильнюс, 1978. С. 284.

470. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

471. *Ремпе Е. Х., Ефремов В. Ф., Мишунина М. П., Самойлов Л. П.* Последствия длительного внесения высоких доз минеральных удобрений // *Докл. ВАСХНИЛ*. 1989. № 6. С. 15—17.

472. *Розов Н.Н., Строгонова М.Н.* Почвенный покров мира. М.: Изд-во МГУ, 1979. 287 с.

473. *Ромашов П. И., Алланова Н.* Влияние минеральных удобрений на урожай и состав протеина злаковых трав // *Вести, с.-х. науки*. 1965. № 7. С. 67—72.

474. *Рославцева С.А., Бутовский Р.О.* Воздействие пиретроидов на вредных и полезных клещей // *Агрохимия*. 1991. № 9. С. 135—144.

475. *Российский статистический ежегодник*. М.: "Логос", 1996. 1202 с.

476. *Рощина В.Д., Рощина В.В.* Выделительная функция высших растений. М.: Наука, 1989. 214 с.

477. *Рубец КМ.* Экология и химизация сельского хозяйства // *Защита растений*. 1990. № 3. С. 4—6.

478. *Русанов А.М.* Экология гумусообразования почв степной зоны Урала. Дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 1995. 224 с.

479. *Рэуце К., Кырстя С.* Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.

480. *Саваше С. Г., Джаухов С. В., Патил П. Л.* Влияние альголизации на урожай риса при разных уровнях минеральных азотных удобрений // *Микробиология*. 1985. Т. 54, вып. 1. С. 192—154.

481. *Савов А., Петраков М.* Действие некоторых пестицидов на репродукцию животных // *Междунар. с.-х. журн.* 1987. № 3. С. 83—85.

482. *Сальников А. И.* Прорастание семян яровой пшеницы под влияни-

ем ризооферных микроорганизмов // С.-х. биол. 1972. № 4. С. 569—572.

483. *Самосова С.М.* Некоторые аспекты изучения взаимоотношений между озимой пшеницей и микрофлорой ризосферы корней // Микроорганизмы почвы и их взаимоотношения с высшими растениями. Казань: КГУ, 1971. С. 3—12.

484. *Самцевич С. А.* Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений // Микроорганизмы почвы и растений. Минск, 1972. С. 3—67.

485. *Санин С. С.* Проблемы фитопатологии в связи с современными тенденциями развития сельскохозяйственного производства // С.-х. биол. 1985. № 1. С. 14—20.

486. *Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф.* Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе. Л.: Колос, 1977. 296 с.

487. *Саранин Е.К.* Принципы биологизации земледелия Нечерноземья России // Хим. в сел. хоз. 1997. № 1. С. 6—7.

488. *Саранин К.И., Старовойтов Н.А.* Система обработки дерново-подзолистых почв в интенсивном земледелии // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М: Агропромиздат, 1990. С. 20—32.

489. *Саранин К.И., Федорищев В.Н.* Пожнивные сидераты в Нечерноземье // Земледелие. 1990. № 1. С. 39—42. 490.

490. *Сдобникова О.В.* Оптимизация питания сельскохозяйственных культур // Параметры плодородия основных типов почв. М.: Агропром-издат, 1980. С. 4—16.

491. *Сдобникова О.В., Кулешова А.Н., Пойкова И.Л. и др.* Влияние инфицирования растений эндомикоризными грибами на урожай, усвоение азота и фосфора бобовыми культурами // Вестн. с.-х. науки. 1991. № 7. С. 78—83.

492. *Секун Н. П.* Влияние инсектицидов на активность пищеварительных ферментов насекомых // Хим. в сел. хоз. 1969. № 5. С. 40—42.

493. *Сельское хозяйство СССР* // Статистический сборник. М.: Финансы и статистика, 1988. 536 с.

494. *Семенов В. Д., Савкина Е. А.* Влияние многолетнего систематического применения комбинированных гербицидов на фитоценоз и микрофлору почвы в бессменных посевах яровой пшеницы // Агрохимия. 1981. № 4. С. 112—117.

495. *Сенп А. А.* Влияние доз минеральных удобрений на урожай и качество картофеля // Агрохимия. 1973. № 7. С. 55—81.

496. *Сеул А. А.* Удобрения и биологическая ценность клубней // Картофель и овощи. 1979. №4. С. 15—16.

497. *Сергеев Е. Н., Друянов В. А.* Человек и геологическая среда. М.: Сов. Россия, 1986. 80 с.

498. *Сидоренко Г.И., Крутько В.Н.* Сохранить здоровье нации // Экологическая альтернатива. М.: Прогресс, 1990. С. 760—795.

499. *Сидоренко Г.И., Можжаев Е.А.* Вопросы гигиены воды за рубежом // Гиг. и сан. 1994. № 3. С. 12—17.

500. Синкевич З. А. Загрязнение почв при систематическом применении минеральных удобрений // Комплексное использование пестицидов и других средств химизации в земледелии. М., 1986. С. 170—171.

501. Сиренко Л. А., Гавриленко М. Я. Цветение воды и эвтрофирование. Киев: Наукова думка, 1978. 232 с.

502. Скокова Н. Н. Оценка побочного действия феноксигербицидов на животных // Влияния пестицидов на диких животных наземных и водных экосистем. М., 1977. С. 58—82.

503. Скорняков С. М. Плуг: крушение традиций? М.: Агропромиздат, 1989. 176 с.

504. Слепян Э. И. Химические средства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве и в зеленом строительстве и проблема нарушения и восстановления экологических систем // Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л., 1981. С. 5—34.

505. Слесарев В. Н., Абрамов Н. В. Деградация чернозема при длительном использовании тяжеловесной техники // Земледелие. 1992. № 6. С. 17.

506. Смагин В. А. Заболачивание озер под влиянием антропогенной эвтрофикации // Экология. 1984. № 3. С. 70—72.

507. Смирнов П. М. Проблемы азота в земледелии и результаты исследований с  $N^{15}$  // Агрохимия. 1977. № 11. С. 3—36.

508. Смирнова Н. К, Карцева Л. К, Потатюева Ю. А. Перспективы применения удобрений в мире // Агрохимия. 1985. № 10. С. 120—127.

509. Соколов И. Д. Основные задачи калийной промышленности до 2000 года // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Менделеева. 1987. Т. 32. № 4. С. 383—387.

510. Соколов М. С, Эукалов А. П. Методологические принципы экотоксикологии пестицидов // Хим. в сел. хоз. 1977. № 6. С. 67—70.

511. Соколовский В. Г. Здоровье природы — здоровье людей. // Вестн. агропрома. 1987. № 49.

512. Соловьева Г. И. Экология почвенных нематод. Л.: Наука, 1986. 247 с.

513. Сонгин В. А. Влияние уровня минерального питания на качество клубней картофеля // Междунар. конгр. по минеральным удобрениям: Докл. зарубежных участников. М., 1976. Т. 2, секц. 5. С. 91—56.

514. Сперанский В. В., Сперанская С. Д., Жамсаранова С. Д., Гончио-ва Ц. Д. Биологическая активность и токсикологический эффект связанных форм 2,4-Д // Гиг. и сан. 1994. № 1. С. 26—29.

515. Спиридонов Ю. А., Лебедева Э. П., Спиридонова Г. С. Качество зерна кукурузы при длительном применении симм. триазинов // Хим. в сел. хоз. 1973. № П. С. 51—53.

516. Спиридонов Ю. Я., Спиридонова Г. С. Действие систематического применения симм. триазинов на агрофитоценоз // Агрохимия. 1973. № 2. С. 118—127.

517. Спыну Е. И., Моложанова Е. Г., Ивашина С. А. Гигиеническое

нормирование метафоса в почве // Хим. в сел. хоз. 1981. № 10. С. 39—41.

518. *Среда обитания — основа жизни* // Вестник агропрома. 1989. № 49 (966).

519. *Стебаев И. В.* Зоомикробиотические комплексы в биогеоценозах // Почвенные организмы как компоненты биогеоценозов. М.: Наука, 1984. С. 40—52.

520. *Степин В. В., Петров Н. Г.* Эффективность защитного лесоразведения. М.: ЦБНТИлесхоз., 1986. 40 с.

521. *Стороженко Н. В.* Состояние микробиоценозов и биологическая активность чернозема, выщелоченного при возделывании зерновых культур бессменно и в севообороте // Докл. ВАСХНИЛ. 1986. № 9. С. 13—15.

522. *Строй А. Н.* Закономерности миграции фосфамида в системе почва — растение // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. С. 144—148.

523. *Суркова Г. В.* Гигиеническое нормирование смеси ртути и свинца в почве // Гиг. и сан. 1987. № 7. С. 11—14.

524. *Суровцева Э. Г., Фунтикова Н. С, Вольнова А. И., Васильева Г. К.* Микробиологическое разрушение хлорированных анилинов // Хим. в сел. хоз. 1981. № 10. С. 34—39.

525. *Сушеница Б.А.* Использование труднодоступных фосфатов почв для питания растений // Хим. сел. хоз. 1991. № 3. С. 29—33.

526. *Тамошайтис Ю., Климкайте И., Кавалаяускене П.* Зависимость степени эвтрофирования озер от интенсивности хозяйственной деятельности // Экологическая оптимизация агроландшафта. М.: Наука, 1987. С. 98—104.

527. *Таран В.В., Панцов А.Г.* Производство и потребление минеральных удобрений в мире // Химизация земледелия. 1991. № 3. С. 99—102.

528. *Таранов М. Т., Сабиров А. Х.* Биохимия кормов. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.

529. *Тарасов М.Н., Демченко А.С, Смирнов М.П., Крюкова И.А., Мельникова И.А.* Роль удобрений в формировании стока биогенных и органических веществ реками // Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов. Пущино, 1988. С. 184—185.

530. *Тарвис Т. В.* Микробиологическая трансформация азота в почве // Биологические основы плодородия почвы. М.: Колос, 1984. С. 54—113.

531. *Таришис Г.И., Мецераков П.В.* Почвенные условия и структура подземных органов злаков в агроценозах // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 83—92.

532. *Тишлер В.* Сельскохозяйственная экология. М.: Колос, 1971. 545 с.

533. *Толоконцев Т. А., Суворов И. М.* Охрана здоровья как социально-экономическая проблема // Состояние здоровья подростков в процессе производственного обучения и вопросы адаптации. М., 1981. С. 3—8.

534. *Толстогузов В.Б.* Новая пища — фундамент цивилизации будущего

го //Хим. и жизнь. 1987. № 4. С. 66—73.

535. *Трепачев Е. П.* Значение биологического и минерального азота в проблеме белка // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. М.: Наука, 1985. С. 27—37.

536. *Трепачев Е. П., Алейникова Л. Д.* О вкладе биологического азота бобовых в плодородие почвы // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. М.: Наука, 1989. С. 8—15.

537. *Трофименко Т. Ф., Лазарев М. М.* Агроресомелиорация и урожай. М.: Россельхозиздат, 1986. 32 с.

538. *Трушин В. Ф., Львов В. М., Быков А. В.* Почвозащитное конвейерное земледелие в кормопроизводстве // Повышение эффективности полевого кормопроизводства на Северо-Западе. Л., 1982. С. 20—27.

539. *Трушин В. Ф., Крылов Э. Ф.* Бесплужная обработка оподзоленного чернозема на Среднем Урале // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. М.: Агропромиздат, 1990. С. 84—92.

540. *Трушин В. Ф., Лукиных М. И., Арнт В. А.* Среднеуральская школа земледелия: достижения, проблемы, пути решения. Екатеринбург, 1998. 198 с.

541. *Туганаев В. В.* Агрофитоценозы современного земледелия и их история. М.: Наука, 1984. 88 с.

542. *Туев Н. А.* Органическое вещество почвы и его биологическая трансформация // Биологические основы повышения плодородия почвы. М.: Колос, 1984. С. 7—56.

543. *Тужилин В. М.* Подбор сидеральных культур и особенности их возделывания // Земледелие. 1991. № 1. С. 65—67.

544. *Турбас Э. М., Хийс В. Р., Калметт Р. Я.* Состав лизиметрических вод и вымывание питательных веществ из пахотного слоя почвы в зависимости от применения удобрений // Хим. в сел., хоз. 1973. № 5. С. 22—27.

545. *Умаров М. М.* Ассоциативная азотфиксация в биогеоценозах // Почвенные организмы как компонент биогеоценоза. М.: Наука, 1984. С. 185—199.

546. *Умаров М. М.* Значение несимбиотической азотфиксации в балансе азота в почве // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1982. № 1. С. 92—105.

547. *Умаров М. М., Куракова Н. Г., Садыков Б. Ф.* Азотфиксация в ассоциациях микроорганизмов с растениями // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. М.: Наука, 1985. С. 205—213.

548. *Унанянц Т. Т.* Современное состояние и прогноз мирового производства и потребления минеральных удобрений к 2000 году // Хим. в сел. хоз. 1978. № 4. С. 51—57.

549. *Унанянц Т. Т.* Химизация сельского хозяйства в СССР и за рубежом. М.: Химия, 1981. 192 с.

550. *Уразаев Н. А.* Экология и патология сельскохозяйственных животных // Экология. 1976. № 4. С. 69—73.

551. *Урсу А. Ф., Синкевич З. А.* Охрана почв в условиях интенсифика-



ции сельскохозяйственного производства. Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1988. 166 с.

552. Устименко КВ., Чигрин А.В., Чкаников Д.И. Остаточные количества хлорсульфурана в семенах льна-долгунца // *Агрохимия*. 1990. № 6. С. 88—90.

553. Утемова Л. Д. Микотрофность растений в некоторых лесных ценозах юга Красноярского края // *Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер биол.* 1988. Вып. 3, № 20. С. 10—18.

554. Учватов В.П. Природные и антропогенные потоки вещества в ландшафтах Русской равнины: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1994. 37 с.

555. Фадеева Т. С, Кириллова Г. А., Петрова Т. М. Действие пестицидов на растения и вопросы охраны генофонда растений // *Вопросы экологии и охраны природы*. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. С. 23—36.

556. Флейвин К. Движение в сторону от эры нефти // *Мир восьмидесятых годов*. М.: Прогресс, 1989. С. 129—149.

557. Флеров Б. А. Эколого-физиологические аспекты токсикологии пресноводных животных. Л.: Наука, 1989. 144 с.

558. Фокин А.Д., Раджабова П.А. Биологическая мобилизация фосфора из минеральных соединений // *Изв. ТСХА*. 1994. № 2. С. 72—78.

559. Фокина В. Д. Охрана и рациональное использование ресурсов диких животных. М., 1986. 66 с.

560. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.

561. Хазиев Ф.Х., Мукатанов А.Х., Курчев П.А., Багаутдинов Ф.Я., Кириллова С.С. Гумус почв агроценозов Башкирской АССР // *Экологические аспекты продовольственной проблемы*. Свердловск, 1990. С. 11—18.

562. Хайниш Э. и др. Агрохимикаты в окружающей среде. М.: Колос, 1978. 357 с.

563. Харченко Н.И. Влияние удобрений на фотосинтез подсолнечника // *Химиз. сел. хоз.* 1991. № 9. С. 83—85.

564. Химическое загрязнение почв и их охрана / Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В. и др. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.

565. Хохлова Н. К. Изменение фертильности пыльцы и всхожести семян у ячменя, обработанного 2,4-Д // *Изв. ТСХА*. 1977. № 5. С. 209—211.

566. Хрушкова Т. А. Изучение действия ингибиторов нитрификации (препаратов на основе нитрапирина и АТС) на несимбиотическую азотфиксацию в почве // *Вопросы агрохимии азота*. М., 1982. С. 65—72.

567. Цыганенко О. И., Лапченко В. С, Цыпко М. И., Емченко Н. Л. Возрастные особенности поступления нитратов и нитритов в организм человека с пищевыми продуктами и питьевой водой // *Канцерогенные Н-нитрозосоединения и их предшественники — образование и определение в окружающей среде*. Таллинн, 1987. С. 176.

568. *Цыганенко О. И., Нобока Н. В., Лапченко В. С. и др.* Метаболизм нитратов в организме человека и животных при их поступлении с питьевой водой и пищей. // Гиг. и сан. 1989. № 4. С. 35—59.

569. *Чекановская О. В.* Дождевые черви и почвообразование. М.; Л., 1960. 206 с.

570. *Чернышев А. К., Лубис Б. А.* Производство и потребление минеральных удобрений за рубежом // Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Менделеева. 1987. Т. 32. № 4. С. 427—436.

571. *Чижикова Н.П.* Изменение состава и свойств тонкодисперсных минералов дерново-подзолистых почв под влиянием минеральных удобрений // Вестн. с.-х. науки. 1990. № 7. С. 128—131.

572. *Чкаников Д. И.* Метаболизм и остатки 2,4-Д в злаках // Хим. в сел. хоз. 1981. №10. С. 25—29.

573. *Чугунихина Н.В., Хасанова М.И.* Влияние пестицидов на неспецифическую сопротивляемость организма инфекции // Гиг. и сан. 1991. № 1. С. 19—21.

574. *Чулкина В. А., Кузнецова Т. Т., Овсянников В. И. и др.* Развитие корневых гнилей в Сибири в зависимости от насыщения севооборотов зерновыми культурами // Докл. ВАСХНИЛ. 1986. № 9. С. 23—25.

575. *Чундерова А. И., Кожемяков А. П.* Влияние удобрений и пестицидов на биологическую фиксацию атмосферного азота // Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л., 1981. С. 82—88.

576. *Шабаев В. П., Кудеяров В. Н.* Вымывание азота из почвы и внесенных удобрений в модельных опытах // Экологические последствия применения агрохимикатов (удобрения). Пушкино, 1982. С. 109—110.

577. *Шабаев В.П., Сафрина О.С, Мудрик В.А.* Влияние ризосферной бактерии *Pseudomonas fluorescens* 20 и эндомикоризного гриба *Glomus mosseae* на урожай и рост редиса в зависимости от условий минерального питания // Агрохимия. 1998. № 6. С. 34—41.

578. *Шабаев В.П., Смолин В.Ю.* Влияние эндомикоризных грибов на содержание "биологического" и минерального азота в растениях овса // Агрохимия. 1989. № 11. С. 62—67.

579. *Шадурский В. И.* Народный опыт земледелия. Свердловск: Изд-во Урал, ун-та, 1991. 231 с.

580. *Шамин А. А.* Динамическое равновесие почвы как регулятор деятельности почвенной микрофлоры, осуществляющей круговорот азота // Экология и физиолого-биохимические основы микробиологического превращения азота. Тарту, 1972. С. 47—91.

581. *Шарманов Т. И.* Загрязнение пищевых продуктов растительного и животного происхождения пестицидами и их метаболитами // Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л., 1981. С. 97—100.

582. *Шатилов И.С.* Экология и энтропия — главные дирижеры исследований в современном полевом опыте // Вестн. с.-х. науки. 1992. №5—6. С. 13—23.

583. *Шатилов И.С., Чаповская Г.В., Замараев А.Г.* Формирование и продуктивность работы фотосинтетического аппарата сельскохозяйственных растений в севообороте // Изв. ТСХА. 1969. Вып. 6. С. 18—26.

584. *Швиндлерман С. П.* Поступление элементов питания с атмосферными осадками в юго-восточной степи Украины // Хим в сел. хоз. 1983. Т. 21, № 12. С. 49—31.

585. *Шевцов С. И.* Фитопатологическая оценка почвозащитной системы земледелия // С.-х. биол. 1970. № 6. С. 878—882.

586. *Шикула Н. К.* Альтернативная агроэкология // Экологическая альтернатива. М.: Прогресс, 1990. С. 476—498.

587. *Шилова Е.И., Амаджи Л.Г.* Воспроизводство и повышение плодородия почв с помощью соломы // Почвенно-агрохимические и экологические проблемы формирования высокопродуктивных агроценозов. Пушкино, 1988. С. 132—133.

588. *Шильников И. А., Мельникова М. Н., Лебедев С. Н., Цыгуткин С.Н.* Влияние минеральных удобрений и известкования на миграцию кальция, магния и сопутствующих элементов из корнеобитаемого слоя дерново-подзолистых почв // Агрохимия. 1989. № 3. С. 68—77.

589. *Шконде Э. И., Благоевская З. К.* Изменение физических свойств почвы при длительном применении минеральных удобрений. М., 1982. 51 с.

590. *Шманаева Т.Н., Литвиненко М.В.* Качество овощей и химизация. М.: Знание, 1990. 64 с.

591. *Шпаар Д.* Альтернативное земледелие // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 2. С. 40—43.

592. *Штина Э. А.* Биомасса и продукция водорослей в почве // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1990. С. 101—105.

593. *Штина Э. А.* Водоросли нечерноземных почв и их роль в создании почвенного плодородия // Развитие и значение водорослей в почвах нечерноземной зоны. Пермь, 1977. С. 71—73.

594. *Штина Э. А.* О роли водорослей в накоплении азота в почве // Агрохимия. 1964. № 4. С. 77—83.

595. *Штина Э. А.* Почвенные водоросли как компонент биогеоценоза // Почвенные организмы как компоненты биогеоценозов. М.: Наука, 1984. С. 66—81.

596. *Штина Э. А., Голлербах М. М.* Важнейшие проблемы почвенной альгологии на современном этапе // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 38—51.

597. *Штина Э. А., Перминова Г. Н.* Водоросли и микроорганизмы сенокосов и пастбищ и их функционирование // Продуктивность сенокосов и

пастбищ. Новосибирск: Наука, 1986. С. 11—17.

598. *Шуфан В.* Пестициды и удобрения // Экологические очерки о природе и человеке. М.: Прогресс, 1988. С. 562—578.

599. *Щеглов В.* На летнее содержание скота // Вести, агропрома. 1988. 15 апр., №16(68).

600. *Щербаков А.П., Володин В.М., Михайлова Н.Ф.* Ландшафтное земледелие и агробиоэнергетика // Земледелие. 1994. № 3. С. 12—13.

601. *Эйтминавичюте И.* Почвенные беспозвоночные // Экологическая оптимизация агроландшафта. М.: Наука, 1987. С. 131—136.

602. *Эйтминавичюте И. С.* Влияние интенсивной обработки с применением гербицидов, дерново-подзолистой почвы на комплексы почвенных беспозвоночных // Проблемы почвенной зоологии. Тбилиси, 1987. С. 344—345.

603. *Элмер Ф., Крюк С, Ешко М.* Влияние сельскохозяйственных культур и систем обработки на содержание гумуса и активность дождевых червей в глинисто-песчаной почве // Изв. ТСХА. 1996. № 2. С. 71—76.

604. *Юрин П. В.* Структура агрофитоценоза и урожай. М.: Изд-во МГУ, 1979. 280 с.

605. *Яблоков А. В.* Пестициды, экология, сельское хозяйство // Коммунист. 1988. № 15. С. 34—42.

606. *Яблоков А.В.* Сельское хозяйство без пестицидов // Экологическая альтернатива. М: Прогресс, 1990. С. 499—520.

607. *Яблоков А. В., Остроумова С. А.* Уровни охраны живой природы. М.: Наука, 1985. 175 с.

608. *Яблоков А.В., Флерова Г.И.* Опыт химизации и перспективы экологизации сельского хозяйства в СССР и за рубежом // Экология и сельское хозяйство: Мат-лы к Всесоюз. конф. М. 1989. С. 56—74.

609. *Ягодин Б. А., Маркелова В. Н., Нейгебаур Э. Ф.* Влияние азотных удобрений на накопление нитратов в овощных культурах // Достижения науки и техники в АПК. 1988. № 5. С. 17—18.

610. *Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. и др.* Агрохимия. М.: ВО "Агропромиздат", 1989. 639 с.

611. *Языкова А. Г.* Изменение содержания и качественного состава гумуса при длительном систематическом применении удобрений и высокой культуре земледелия в черноземе обыкновенном правобережной северной степи УССР // Агрохимия. 1978. № 3. С. 104—107.

612. *Яким В. С, Василос А. Ф., Оннополь И. И. и др.* Гигиенические аспекты охраны окружающей среды и здоровья населения при применении удобрений и пестицидов // Охрана природы Молдавии. Кишинев, 1988. С. 173—178.

613. *Якубов Я. Л., Кахаров А. К.* Комбинированное действие ядохимикатов в условиях высокой температуры // Вопросы гигиены и токсикологии пестицидов. М.: Медицина, 1970. С. 145—148.

614. Яндыганов Я.Я. Экономика и экология АПК региона. Екатеринбург, 1997. 92 с.
615. Яндыганов Я.Я. Экономика природопользования. Екатеринбург, 1997. 764 с.
616. Яровой рапс на корм и семена в Нечерноземной зоне (интенсивная технология). М.: Агропромиздат, 1988. 40 с.
617. Яхонтов В. В. Экология насекомых. М.: Высшая школа, 1964. 459 с.
618. *Acid rain* — an environmental time bomb // *Fish, Form. Intern.* 1983. 10. P. 11.
619. *Acid rain could cause 5 billion dollars* // *Environm. Sc. Technol.* 1985. 19. 9. P. 953.
620. *Asami Terio* Soil pollution by metals in Japan // *Trans. 13 Congr. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg*, 13—20 Aug., 1986. Vol. 2. P. 222—223.
621. *Balcomb R., Bowen C A., Wright D., Law M.* Effects on wildlife of at-planting corn applications of granular carbofuran // *J. Wildlife Manag.* 1984. 48. 4. P. 1353—1359.
622. *Borcher H.* Bodenphysikalische Veränderungen eines Lössbodens bei langjähriger pflugloser Bewirtschaftung // *Bayer, landwirt. Ja hrb.* 1988. 65. 7. P. 813—824.
623. *Cadmium* no problem in the EEC // *Phosphorus Potassium.* 1987. 149. P. 40.
624. *Casanova P. et. al.* Fasanidi attend ai disrrlandi // *Inform. Zootechnica.* 1984. 31. 5. P. 66—73.
625. *Ceausescu M. E., Fidel S., Radoi V., Tudor T. A.* Influenta ingrasamintelor chinice asupra productie si postrarii bulbilor de ceapa // *Prod. veget. Hortic.* 1985. 34. 3. P. 34—37.
626. *Chestrs G., Schierow L.* Aprimer on nonpoint pollution // *J. Soil Water Conserv.*, 1985. 40. 4. P. 9—13.
627. *Curbs* on phosphates // *Phosphorus Potassium.* 1987, 151. P. 22—27.
628. *Czarneski A.* Struktura zgrupowania Collembola w agroecosysteme // *Acta Univ. N. Copernici. Biol.* 1989. N 33. C 59—73.
629. *Cvak Z, Podhorsky M., Hurtakova J.* The influence of nitrates en activiti of lactic acid bacteria // *Milk the vital force.* 1987. P. 186—187.
630. *Dam Kofoed A.* Nitrat i drikkevand og sundhedsfare // *Ugeskrift for Jordbruk.* 1983. 128. 17. P. 319—327.
631. *Diez T.* Nitrabelastung des Trinkwassers in Bayern, Ursachermittlung lind Gegensteuerung // *Landwirtschaftliche Forschung.* 1985. S. 379—389.
632. *Ficher K.* Acid precipitation and the concerns for fish and wildlife resources // *Intern. Associant. Fish Wildlife Agencies.* 1982. P. 19—35.
633. *Friesel P., Milde G., Stock R., Ahlsdorf B.* Impact of agricultural pesticide application on groundwater in Western Germany—latest results and an attempt of assessment // *Trans. 13 Congr. Int. Soc. Sci. Hamburg*, 13-20 Aug.,

1986. Vol. 6. Hamburg, 1987. P. 856.

634. *Garres J. P., Plebin R.* Repartition du fluor dans les differents products laitiers obtenus a partir de lait contamine // Sc. total environm. 1986. 50. P. 183—189.

635. *Gripperay G.* Lutte centre les nitrates une inquietante directive se prepare // Agricol. 1988. 598. P. 51—54.

636. *Henricsen K.* Kvaeltogodsning of saede kepalog // Dansc Logavi. 1984. 30. 3. P. 9—13.

637. *Hofstetter W.* Neue Trinkwasserverordnung tritt in kraft // Mitteilun-gen. 1986. 101. 10. P. 1030—1032.

638. *In vielen Brunnen ist zuviel nitrat* // Landwirtschaftlichen Wochenblatt. 1986. 17. P. 16—17.

639. *Jacobi Meike, Jaime Ruth, Kolrich Kilian, Weinert Rolf, Wide Irene.* Wie gefahren sing Pestizide? // Wechselwirkung. 1988. 10. 37. P. 29—33.

640. *Illioke A.* Tolerable amounts of heavy metals in soil and their accumu-lation in plants // Environmental effect of organic and inorganic Contaminants in sewage sludge. 1983. P. 171—175.

641. *Kreuger Jenny, Brink Nils.* Losses of pesticides from arabbe lang // Vaxtskyddsrap. Konsulentavd. vaxtskydd. inst. vaxtoch skogsskydd. Jord-bruk. 1988. 495. P. 50—61.

642. *Laedermann J.* Utilisation limitee engrais en Europe? // Terre Ro-mande. 1984. 20. 14. P. 9.

644. *Lehringer S.* Schwermetallbelastung des Bodens aus heutiger Sich // Allg. Porstz, 1984. 39. 6. P. 106—107.

644. *Lisi P.* Patologia cutanea da pesticidi // G. ital. dermatol. e venerol. 1987. 122. 4. P. 175—182.

645. *Machacek V.* Kadmium v pude a rostlinach // Agrochemia. 1983. 23. 11. P. 332.

646. *Menzel R. G. J.* Agric. and Food Chem. 1968. Vol. 16. 2. P. 231—234.

647. *Mortvedt J.* Cadmium levels in soils and plant tissues from longterm soil fertility experiments in the United S'tates // Society Soil Sc. Congress. 13 Transactions. 1986. Vol. 3. P. 870—871.

648. *Oudejans Miriam.* Potato pesticides found in New Brunswick wells // Alternatives. 1986. 13. 2. P. 40—41.

649. *Pears F.* The greening og Germani // New Scientist. 1987. 113. 1544 P. 48—49.

650. *Podany P.* Hnojiva a ochrana zivotniha prostred. // Krmivarstvi Sluz-by. 1985. 21.2. P. 30—32.

651. *Rohmann U.* Bedeutung des Grundwasser- und Bodenschutzes fur die Trinkwasserversorgung Deutsche Landwirtschafts — Gessellschaft // Arbei-ten der DLG. 1986. 185. S. 92—103.

652. *Roux J.-C.* Controle et protection de la qualite des eaus souterraines // Hydrogeologie. 1988. 1. P. 5—33.

653. *Serre D., Birkan M.* Incidence de traitements insecticides sur les ressources alimentaires des poussions de perdrix grise dans agrosystème de Bea-uce // *Gibier Faune sauvage*. 1985. 4. P. 21—61.

654. *Siegentheler A., Gupto S. K., Hani H.* Schwermetalle Bedrohung für unsere Böden // *Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz. Société Suisse de Pédo-logie Bull.* 1985. 9. P. 10—16.

655. *Steinnes Eiliv.* Heavy metal pollution of natural surface soil from long-range atmospheric transport // *Trans. 13 Congr. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg*, 13—20 Aug., 1986. Vol. 2. P. 504—505.

656. *Urbain C. D.* The chemical waste heap // *Farm. J.* 1986. 110 13 P. 15—16.

657. *Veniger* Cadmium in Phosphatdüngern? // *Taspo*. 1986. 120. 3. P. 3.

658. *Wolnink K. A., Fricke F. L., Capar S. G., Meyer M. V., Satzger D., Bonin E., Gaston C. M.* Elements in major raw agricultural crops in the United States. Cadmium, lead and eleven other elements in carrots, field, corn, onions, rice, spinach and tomatoes // *J. agr. Food. Chem.* 1985, 33 5, P. 808—811.

*ПРИЛОЖЕНИЕ 1*

**Влияние доз удобрений и структуры посева на урожайность корнеплодов  
кормовой брюквы, т/га (среднее за 3 года)**

Доза удобрений (А)	Структура посева, тыс. раст./га				Средние по фактору (А)
	82—89	71—75	53—56	41—44	
Без орошения					НСР05 = 2,7 т/га
N90P90 K90	43,3	46,6	48,4	51,7	47,5
N203P120K340	49,5	51,9	55,4	55,8	53,2
Средние по фактору (В)	46,4	49,2	51,9	53,8	
НСР05 = 3,9 т/га					
НСР05 для частных средних = 5,5 т/га					
При орошении					НСР03 = 4
N90P90K90	56,2	62,0	60,9	65,1	61,0
N203P120K340	60,9	63,5	73,5	76,7	68,6
Средние по фактору (В)	58,6	62,8	67,2	70,9	
НСР03 = 5,9 т/га					
НСР05 для частных средних = 8,3 т/га					



**Влияние доз удобрений и структуры посева на урожайность  
корнеплодов турнепса, т/га (среднее за 3 года)**

Доза удобрений (А)	Структура посева, тыс. раст./га (В)				Средние по фактору (А)
	108—118	87—94	74—76	54—52	
Без орошения					НСР <sub>05</sub> = 7,4 т/га
N <sub>0</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	69,4	70,3	68,3	65,2	68,3
N <sub>203</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	78,5	79,1	76,4	74,1	77,0
Средние по фактору (В)	74,0	74,7	72,4	69,6	
F <sub>факт.</sub> < F <sub>теор.</sub>					
НСР <sub>05</sub> для частных средних = 14,8 т/га					
При орошении					НСР <sub>05</sub> = 7,9 т/га
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	76,6	80,5	77,4	74,5	77,2
N <sub>203</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	91,4	95,2	93,3	86,4	91,6
Средние по фактору (В)	84,0	87,8	85,4	80,4	
F <sub>факт.</sub> < F <sub>теор.</sub>					
НСР <sub>05</sub> для частных средних =15,8 т/га					

**Влияние доз удобрений и структуры посева на урожайность  
корнеплодов кормовой свеклы, т/га (среднее за 3 года)**

Доза удобрений(А)	Структура посева, тыс. рас./га (В)				Средние по фактору (А)
	93—96	75—80	53—59	43—45	
Без орошения					
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	-	-	48,4	51,7	-
N <sub>203</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	49,5	51,9	55,4	55,8	53,2
Средние по фактору (В)	-	-	51,9	53,8	
При орошении					
					НСР <sub>05</sub> = 3,6 т/га
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	58,4	60,4	60,8	58,5 71,3	59,5
N <sub>203</sub> P <sub>120</sub> K <sub>340</sub>	72,3	71,1	72,7	64,9	71,8
Средние по фактору (В)	65.4	65,8	66,8		
F <sub>факт.</sub> < F <sub>теор.</sub>					
НСР <sub>05</sub> для частных средних = 7,3 г/га					

**Влияние удобрений и разных способов их внесения  
на урожайность корнеплодов кормовой свеклы, т/га (среднее за 3 года)\***

Варианты	Урожайность
Без удобрений	35,5
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	39,5
N <sub>60</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	40,2
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + некорневая N <sub>30</sub>	40,3
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + две некорневых по N <sub>15</sub>	40,7
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + три некорневых по N <sub>10</sub>	40,0
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + три некорневых по N <sub>5,10,15</sub>	39,4
N <sub>30</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> + шесть некорневых по N <sub>5</sub>	41,1

\* Данные получены совместно с Н. Данько.

**Порядок расчета экономического ущерба, возникающего  
в результате загрязнения водного объекта агрохимикатами  
(при выращивании кормовой свеклы)**

**Исходные данные**

Доза средств химизации, кг/га	Физический объем вносимых средств химизации, кг/га (т)	Поступление средств химизации в водный объект, % от внесенного количества(р)	ПДК <sub>р/х</sub> средств химизации в воде, мг/л
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	азотные — 220 фосфорные — 200 калийные — 150	азот — 15 фосфор — 3 калий — 10	0,5 0,5 1
Пирамин, 4кг	4	2	0,02

**Определение физической массы средств химизации,  
Попадающих в водный объект**

$$m_{\text{сред.хим.}} = \frac{m \times p \times S}{100\%},$$

где m – физический объем вносимых средств химизации, кг/га;  
p – доля средств химизации, попадающих в водный объект, %;  
S – площадь, на которой используются агрохимикаты, га.

$$m_{\text{азот.уд.}} = \frac{220 \times 15 \times 1}{100} = 33 \text{ кг};$$

$$m_{\text{фос.уд.}} = \frac{200 \times 3 \times 1}{100} = 6 \text{ кг};$$

$$m_{\text{кал.уд.}} = \frac{150 \times 10 \times 1}{100} = 15 \text{ кг};$$

$$m_{\text{пирам.}} = \frac{4 \times 2 \times 1}{100} = 0,08 \text{ кг};$$

### Определение условий (приведенной) массы агрохимикатов, попадающих в водный объект (М)

$$M = m \times \frac{1}{\text{ПДК}_{\text{p/x}}},$$

где  $m$  – физическая масса агрохимикатов, попадающих в водный объект, кг с 1 га.

$$M_{\text{азот.уд.}} = 33 \times \frac{1}{0,5} = 66 \text{ кг};$$

$$M_{\text{фосф.уд.}} = 6 \times \frac{1}{0,5} = 12 \text{ кг};$$

$$M_{\text{кал.уд.}} = 15 \times \frac{1}{1} = 15 \text{ кг};$$

$$M_{\text{пир.}} = 0,08 \times \frac{1}{0,05} = 2 \text{ кг};$$

$$M_{\text{общая}} = 66 + 12 + 15 + 2 = 95 \text{ кг (0,095 т)};$$

### Определение экономического ущерба (У) от загрязнения водного объекта агрохимикатами

$$U = \gamma \times \delta \times M,$$

где  $\gamma$  – удельный ущерб от загрязнения водного объекта, устанавливаемый ежегодным постановлением законодательных органов и равный 133 руб./усл.т. (1998г.);

$\delta$  – безразмерная константа, имеющая определенное значение для различных водохозяйственных участков. Для рек бассейна Оби она равна 1,2;

$M$  – приведенная масса вещества, поступающего в водный объект от источника загрязнения, усл. т. В нашем случае она равна 0,095 усл.т.

$$U = 133 \times 1,2 \times 0,095 = 15 \text{ руб.16 коп.}$$

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ.....	7
1.1. Минеральные удобрения в сельском хозяйстве.....	7
1.2. Биогеохимические аспекты миграции азота и фосфора из почв сельскохозяйственного использования.....	9
1.3. Влияние минеральных удобрений на свойства почвы.....	16
1.4. Обогащение почв сопутствующими элементами, содержащимися в минеральных удобрениях и мелиорантах.....	22
1.5. Минеральные удобрения и гигиенические проблемы, возникающие в связи с их использованием.....	29
1.5.1. Влияние нитратов на организм человека и сельскохозяйственных животных.....	29
1.5.2. Причины появления нитратов в питьевой воде и продуктах питания.....	31
1.6. Влияние удобрений на качество продуктов растениеводства и животноводства.....	34
1.7. Влияние минеральных удобрений на сохранность и товарные свойства растений.....	40
1.8. Трудности, связанные с производством минеральных удобрений и добычей сырья.....	43
Глава 2. ВЛИЯНИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ.....	48
2.1. Пестициды в сельскохозяйственном производстве.....	48
2.2. Загрязнение пестицидами почв, гидросферы, воздуха и продуктов питания.....	48
2.3. Возможные последствия применения пестицидов для человека и сельскохозяйственных животных.....	55
2.4. Влияние пестицидов на свойства растений.....	58
2.5. Экологические последствия применения пестицидов.....	62
Глава 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ.....	71
3.1. Основные тенденции в использовании природно-ресурсного потенциала планеты.....	71
3.2. Энергетические аспекты современных систем земледелия.....	73
3.3. Эколого-экономическая эффективность применения в земледелии средств химизации.....	77
Глава 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЕЕ ПЛОДОРОДИЯ.....	86
4.1. Живые организмы как фактор образования и эволюционного развития почв.....	86

4.2. Живые организмы почвы и особенности их жизнедеятельности..	89
4.2.1. Бактерии.....	91
4.2.2. Грибы.....	93
4.2.3. Водоросли.....	95
4.2.4. Почвенные животные.....	97
4.3. Взаимоотношения почвенных организмов между собой и растениями.....	104
Глава 5. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПЕСТИЦИДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ.....	113
5.1. Минеральные удобрения как фактор, регулирующий жизнедеятельность почвенной биоты.....	113
5.2. Влияние пестицидов на биологические свойства почвы.....	122
Глава 6. ЭКОЛОГО-БИОСФЕРНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ КАК СПОСОБ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ПЛАНЕТЫ...	129
6.1. Биосфера и масштабы ее сельскохозяйственного преобразования	129
6.2. Природоохранные формы земледелия.....	131
6.3. Эколого-биосферное земледелие.....	138
6.3.1. Конкретизация термина.....	138
6.3.2. Пути активизации почвообразовательного процесса в эколого-биосферном земледелии.....	139
6.4. Способы улучшения биологических свойств почвы.....	150
6.5. Севооборот и его значение в эколого-биосферном земледелии....	166
6.6. Агрофитоценоз и основные подходы к его формированию.....	171
6.7. Место агролесомелиорации в эколого-биосферном земледелии...	181
6.8. Агроландшафт и его связь с эколого-биосферным земледелием...	188
6.9. Экономические аспекты перехода на эколого-биосферное земледелие.....	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	195
ЛИТЕРАТУРА.....	199
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	240

*Научное издание*

**Овсянников Юрий Алексеевич**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ЭКОЛОГО-БИОСФЕРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Отв. за выпуск *Т. Г. Мусина*

Редактор *С. Г. Галинова*

Подготовка оригинал-макета *Н. П. Сорокиной*

Изд. лиц. № 020257 от 22.11.96 г.

Подписано в печать 21.03.00. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 500 экз.

Издательство Уральского университета.  
620083 г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4.

Отпечатано с готовых диапозитивов